

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61800-4

Première édition
First edition
2002-09

**Entraînements électriques de puissance
à vitesse variable –**

**Partie 4:
Exigences générales – Spécifications de
dimensionnement pour systèmes d'entraînements
de puissance en courant alternatif de tension
supérieure à 1 000 V alternatif et ne dépassant
pas 35 kV**

Adjustable speed electrical power drive systems –

**Part 4:
General requirements – Rating specifications
for a.c. power drive systems above 1 000 V a.c.
and not exceeding 35 kV**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61800-4:2002

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61800-4

Première édition
First edition
2002-09

**Entraînements électriques de puissance
à vitesse variable –**

**Partie 4:
Exigences générales – Spécifications de
dimensionnement pour systèmes d'entraînements
de puissance en courant alternatif de tension
supérieure à 1 000 V alternatif et ne dépassant
pas 35 kV**

Adjustable speed electrical power drive systems –

**Part 4:
General requirements – Rating specifications
for a.c. power drive systems above 1 000 V a.c.
and not exceeding 35 kV**

© IEC 2002 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XE**

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	10
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives	12
3 Définitions.....	18
3.1 Système	18
3.2 Paramètres d'entrée de l'entraînement.....	30
3.3 Convertisseur	32
3.4 Paramètres de sortie du moteur et du système.....	34
3.5 Contrôle.....	34
3.6 Essais.....	36
3.7 Symboles.....	38
4 Aperçu des topologies des entraînements	42
4.1 Classification des topologies	42
4.2 Configuration du convertisseur.....	42
4.3 Type de moteur.....	44
4.4 Couplage direct du moteur et configurations redondantes.....	46
4.5 Récupération et freinage dynamique	48
5 Conditions de service.....	50
5.1 Installation et fonctionnement.....	50
5.2 Transport.....	56
5.3 Magasinage de l'équipement.....	58
6 Caractéristiques assignées	60
6.1 Entraînement de puissance (PDS).....	60
6.2 Convertisseur	66
6.3 Transformateur	70
6.4 Moteur	70
7 Prescriptions de performances du contrôle	72
7.1 Performances en régime établi.....	72
7.2 Performance dynamique	74
7.3 Performances de l'interface procédé asservissement	86
8 Composants principaux du système d'entraînement.....	90
8.1 Responsabilités	90
8.2 Transformateur	90
8.3 Convertisseur et contrôles associés	98
8.4 Moteur	100
9 Exigences d'intégration du PDS.....	112
9.1 Conditions générales	112
9.2 Intégration des composants de tension supérieure à 1 000 V.....	118
9.3 Interface de protection	126
9.4 Interface avec le matériel entraîné	130
10 Essais.....	132
10.1 Exécution des essais	132
10.2 Essais des constituants séparés du PDS.....	132
10.3 Essais de l'entraînement.....	140

CONTENTS

FOREWORD	11
1 Scope	13
2 Normative references	13
3 Definitions	19
3.1 System	19
3.2 PDS input parameters	31
3.3 Converter	33
3.4 PDS output parameters	35
3.5 Control	35
3.6 Tests	37
3.7 Symbols	39
4 Overview of drive system topologies	43
4.1 Topologies classification	43
4.2 Converter configuration	43
4.3 Motor type	45
4.4 By-pass and redundant configurations	47
4.5 Regenerative and dynamic braking	49
5 Service conditions	51
5.1 Installation and operation	51
5.2 Transportation	57
5.3 Storage of equipment	59
6 Ratings	61
6.1 Power drive system (PDS)	61
6.2 Converter	67
6.3 Transformer	71
6.4 Motor	71
7 Control performance requirements	73
7.1 Steady state performance	73
7.2 Dynamic performance	75
7.3 Process control interface performance	87
8 PDS main components	91
8.1 Responsibilities	91
8.2 Transformer	91
8.3 Converter and associated controls	99
8.4 Motor	101
9 PDS integration requirements	113
9.1 General conditions	113
9.2 Integration of components with voltages above 1 000 V	119
9.3 Protection interface	127
9.4 Driven equipment interface	131
10 Tests	133
10.1 Performance of tests	133
10.2 Items of individual PDS component tests	133
10.3 Drive system tests	141

11	Détermination du rendement	152
11.1	Généralités	152
11.2	Méthode des pertes séparées	156
11.3	Essai du système à pleine charge	164
	Annexe A (informative) Topologies les plus utilisées pour les entraînements	170
A.1	Objet	170
A.2	Topologies d'entraînements avec convertisseurs indirects	170
A.3	Topologies d'entraînement à convertisseurs directs	186
	Annexe B (informative) Performance du contrôle de vitesse et système mécanique	192
B.1	Généralités	192
B.2	Types de contrôle de vitesse fondamentaux	192
B.3	Effet de l'élasticité de torsion sur la performance de contrôle de vitesse	194
B.4	Effets des jeux mécaniques	198
B.5	Choix des critères du système de contrôle de vitesse	200
B.6	Spécification des performances du contrôle de vitesse	202
	Annexe C (informative) Pertes des semi-conducteurs	204
C.1	Thyristor	204
C.2	GTO/GCT (thyristor commandé à l'extinction/thyristor à commande d'extinction intégrée)	206
C.3	IGBT	210
C.4	Pertes des circuits d'aide à la commutation (CALC)	214
	Figure 1 – Schéma fonctionnel d'un entraînement à vitesse variable à courant alternatif (PDS) – Tension supérieure à 1 kV	20
	Figure 2 – Exemple d'enveloppe de charge	34
	Figure 3 – Structure générale d'un entraînement avec convertisseur indirect	42
	Figure 4 – Structure générale d'un entraînement avec convertisseur direct	44
	Figure 5 – Exemple de convertisseur à modules multiples et d'enroulements stator séparés	46
	Figure 6 – Configuration générique de couplage direct du moteur pour un système à convertisseur indirect	46
	Figure 7 – Onduleur à commutation assistée par la charge (LCI) pour moteur synchrone en configuration partiellement redondante	48
	Figure 8 – Exemple de freinage dynamique	48
	Figure 9 – Caractéristiques typiques du rendement et des pertes d'un entraînement en fonctionnement à flux constant	64
	Figure 10 – Exemple de cycle de surcharge	66
	Figure 11 – Bande de précision	74
	Figure 12 – Réponse temporelle suivant une variation de référence d'entrée en échelon – Variable opérationnelle constante	80
	Figure 13 – Réponse temporelle suivant une variation de la variable opérationnelle – Référence constante	82
	Figure 14 – Réponse temporelle suivant une variation de la référence à un taux spécifié	82

11 Efficiency determination	153
11.1 General	153
11.2 Segregated loss method	157
11.3 Full load system test	165
Annex A (informative) Most commonly used drive system topologies	171
A.1 Object	171
A.2 Drive system topologies with indirect converters	171
A.3 Drive system topologies with direct converters	187
Annex B (informative) Speed control performance and the mechanical system	193
B.1 General	193
B.2 Basic speed control types	193
B.3 Effect of torsion elasticity on speed control performance	195
B.4 Effects of backlash	199
B.5 Selection criteria for the speed control system	201
B.6 Specification of the speed control performance	203
Annex C (informative) Power semiconductor losses	205
C.1 Thyristor	205
C.2 GTO/GCT thyristor (gate turn-off, gate commutated turn-off)	207
C.3 IGBT	211
C.4 Snubber losses	215
Figure 1 – Functional diagram of an a.c. adjustable speed power drive system (PDS) – Voltage above 1 kV	21
Figure 2 – Example of load envelope	35
Figure 3 – General structure of a drive system with an indirect converter	43
Figure 4 – General structure of a drive system with direct converter	45
Figure 5 – Example of multiple converter modules and separate stator winding systems motor	47
Figure 6 – Bypass configuration for system with indirect converter	47
Figure 7 – LCI-synchronous motor in a partly redundant configuration	49
Figure 8 – Example of dynamic braking	49
Figure 9 – Typical curves for efficiency and losses of a PDS at constant flux operation	65
Figure 10 – Overload cycle example	67
Figure 11 – Deviation band	75
Figure 12 – Time response following a step change of reference input – no change in operating variables	81
Figure 13 – Time response following a change in an operating variable – no reference change	83
Figure 14 – Time response following a reference change at specified rate	83

Figure 15 – Réponse fréquentielle de l'asservissement – Excitation en référence	84
Figure 16 – Responsabilités du fournisseur du système	90
Figure 17 – Types de contraintes d'isolement	106
Figure 18 – Définition de la tension transitoire aux bornes du moteur	108
Figure 19 – Caractéristiques limites admissibles d'une impulsion de tension (y compris l'effet de réflexion et l'amortissement) aux bornes du moteur en fonction du temps de montée t_a	108
Figure 20 – Entraînement de puissance (PDS) de tension supérieure à 1 000 V	114
Figure 21 – Intégration du PDS	118
Figure 22 – Exemple de mise à la terre de protection et d'interconnexion des composants principaux	122
Figure 23 – Points de mesures recommandés sur un entraînement	142
Figure 24 – Schéma de l'essai en opposition	150
Figure 25 – Configuration matérielle du PDS et rendement individuel de chaque composant	154
Figure A.1 – Structure de base d'un entraînement à moteur synchrone et onduleur de type LCI	170
Figure A.2 – Structure de base d'un entraînement avec moteur à induction et onduleur LCI	172
Figure A.3 – Structure de base d'un entraînement avec moteur à induction et onduleur auto-commuté en source de courant et à MLI	172
Figure A.4 – Topologie d'un entraînement avec moteur à induction et double onduleur CSI-MLI	174
Figure A.5 – Entraînement triphasé avec onduleur en source de tension (VSI)	176
Figure A.6 – Entraînement à onduleur en source de tension NPC	176
Figure A.7 – Structure NPC	178
Figure A.8 – Entraînement à onduleur multiniveaux en source de tension	178
Figure A.9 – Structure de l'onduleur multiniveaux	180
Figure A.10 – Onduleur triphasé en source de tension avec convertisseur bidirectionnel côté réseau	182
Figure A.11 – Entraînement à double onduleur en source de tension (VSI)	182
Figure A.12 – Entraînement à onduleur multiniveaux en source de tension	184
Figure A.13 – Module de puissance (PM) pour onduleur multiniveaux en source de tension	186
Figure A.14 – Cycloconvertisseur triphasé d'indice de pulsation 6 avec transformateur à 3 secondaires	188
Figure A.15 – Cycloconvertisseur à circulation de courant	188
Figure B.1 – Schéma bloc d'un système de contrôle en boucle fermée avec les éléments fondamentaux	192
Figure B.2 – Schéma mécanique d'un système à deux inerties	194
Figure C.1 – Forme d'onde de commutation des GTO/GCT	208
Figure C.2 – Forme d'onde de commutation d'un IGBT	212
Figure C.3 – Pont à thyristor triphasé	216
Figure C.4 – Ecrêteur commun de type RCD	216

Figure 15 – Frequency response of the control – reference value as stimulus.....	85
Figure 16 – Responsibilities of the system supplier	91
Figure 17 – Insulation stressing types	107
Figure 18 – Definition of the transient voltage at the terminals of the motor	109
Figure 19 – Admissible pulse voltage (including voltage reflection and damping) at the motor terminals as a function of the peak rise time t_a	109
Figure 20 – Power drive system (PDS) – voltage above 1 000 V.....	115
Figure 21 – PDS integration.....	119
Figure 22 – Example of protective earthing and interconnection of main components	123
Figure 23 – Reference measuring points for drive system tests	143
Figure 24 – Back-to-back test	151
Figure 25 – PDS hardware configuration and individual component efficiency.....	155
Figure A.1 – Basic structure of an LCI synchronous motor drive system	171
Figure A.2 – Basic structure of an LCI induction motor drive system.....	173
Figure A.3 – Basic structure of a self-commutated PWM-CSI inverter for an induction motor drive system	173
Figure A.4 – Dual CSI-PWM converter topology for induction motor drive system	175
Figure A.5 – Three-phase VSI drive systems	177
Figure A.6 – Voltage source NPC inverter drive system.....	177
Figure A.7 – NPC structure.....	179
Figure A.8 – Voltage source multi-level inverter drive system	179
Figure A.9 – Multi-level inverter structure.....	181
Figure A.10 – Three-phase VSI inverter with a bi-directional line-side converter	183
Figure A.11 – Dual voltage source inverter (VSI) drive system	183
Figure A.12 – Voltage source multilevel inverter drive system	185
Figure A.13 – Power module (PM) for each level.....	187
Figure A.14 – Three-phase six-pulse connection cycloconverter with a four-winding transformer.....	189
Figure A.15 – Circulating current cycloconverter	189
Figure B.1 – Block diagram of the feedback control system containing all the basic elements	193
Figure B.2 – Mechanical diagram of a two moment inertia system	195
Figure C.1 – GTO/GCT switching waveform.....	209
Figure C.2 – IGBT switching waveform	213
Figure C.3 – Three-phase thyristor bridge circuit.....	217
Figure C.4 – Common RCD clamp	217

Tableau 1 – Symboles	40
Tableau 2 – Conditions de service pour l'alimentation aux bornes de l'entraînement (principales et auxiliaires)	50
Tableau 3 – Limites de vibration de l'installation	54
Tableau 4 – Limites de vibration au cours du transport (voir classe 2M1 de la CEI 60721-3-2)	58
Tableau 5 – Exemple de réduction de la charge maximale permanente en fonction de la surcharge	66
Tableau 6 – Bandes de précision – Erreurs maximales (%)	74
Tableau 7 – Limites et types de contraintes	110
Tableau 8 – Fonctions de protection de l'entraînement	128
Tableau 9 – Essais normalisés des constituants des entraînements	132
Tableau 10 – Essais normalisés du convertisseur en tant que constituant	136
Tableau 11 – Essais d'un entraînement	140

Table 1 – Symbols	41
Table 2 – Service conditions for the voltage supply at the PDS terminals (main and auxiliary)	51
Table 3 – Installation vibration limits	55
Table 4 – Transportation vibration limits (see class 2M1 IEC 60721-3-2)	59
Table 5 – Example of reduced maximum continuous load as a function of an overload	67
Table 6 – Maximum deviation bands (percent)	75
Table 7 – Limiting parts and typical voltage stress capability of the motor insulation system ..	111
Table 8 – PDS protection functions	129
Table 9 – Standard tests for PDS components	133
Table 10 – Standard tests of the converter as component	137
Table 11 – Drive system tests	141

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES DE PUISSANCE À VITESSE VARIABLE–

Partie 4: Exigences générales – Spécifications de dimensionnement pour systèmes d'entraînements de puissance en courant alternatif de tension supérieure à 1 000 V alternatif et ne dépassant pas 35 kV

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61800-4 a été établie par le sous-comité 22G: Convertisseurs à semiconducteurs pour les systèmes d'entraînement électrique à vitesse variable, du comité d'études 22 de la CEI: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
22G/99/FDIS	22G/107/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2008. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ADJUSTABLE SPEED ELECTRICAL POWER DRIVE SYSTEMS –**Part 4: General requirements – Rating specifications for a.c. power drive systems above 1 000 V a.c and not exceeding 35 kV**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61800-4 has been prepared by sub-committee 22G: Semiconductor power converters for adjustable speed electric drive systems, of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
22G/99/FDIS	22G/107/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annexes A, B and C are for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2008. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES DE PUISSANCE À VITESSE VARIABLE –

Partie 4: Exigences générales – Spécifications de dimensionnement pour systèmes d'entraînements de puissance en courant alternatif de tension supérieure à 1 000 V alternatif et ne dépassant pas 35 kV

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61800 s'applique aux entraînements à vitesse variable à courant alternatif comprenant la conversion de puissance, l'équipement de contrôle et un moteur. La traction pour les applications ferroviaires et les entraînements de véhicules électriques sont exclus.

La présente partie s'applique aux systèmes (voir figure 1) dont les tensions du convertisseur sont comprises entre 1 kV alternatif et 35 kV alternatif (tension entre phases), 50 Hz ou 60 Hz en entrée, et pour lesquels la tension générée en sortie du convertisseur peut aller jusqu'à 600 Hz. Les prescriptions concernant les tensions supérieures à 15 kV ne sont pas spécifiées et sont définies d'un commun accord entre le constructeur et le fournisseur du système.

Les prescriptions relatives aux entraînements de puissance, de tensions supérieures à 1 kV, qui utilisent un transformateur abaisseur en entrée et/ou un transformateur élévateur en sortie associé à un convertisseur en basse tension (inférieure à 1 000 V) sont celles de la CEI 61800-2.

Les aspects CEM sont traités dans la CEI 61800-3.

Les prescriptions spécifiques de sécurité des entraînements de tension supérieure à 1 kV seront traitées dans la CEI 61800-5.

Cette norme définit les caractéristiques des convertisseurs, leurs topologies et leurs relations aux systèmes d'entraînement à courant alternatif complet. Elle définit également les exigences de performance en termes de caractéristiques assignées, de conditions normales de fonctionnement, de conditions de surcharge, de tenue aux dépassements transitoires, de stabilité, de protection, de mise à la terre du réseau alternatif, de topologies et d'essais. De plus, elle fournit des guides d'application, par exemple relatifs aux stratégies de commande, à l'analyse de torsion, aux recommandations de mise à la terre ou à l'intégration des composants du système d'entraînement.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 60034-2:1972, *Machines électriques tournantes – Deuxième partie: Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)*

Amendement 1 (1995)

Amendement 2 (1996)

ADJUSTABLE SPEED ELECTRICAL POWER DRIVE SYSTEMS –

Part 4: General requirements – Rating specifications for a.c. power drive systems above 1 000 V a.c and not exceeding 35 kV

1 Scope

This part of IEC 61800 applies to adjustable speed a.c. drive systems that include power conversion, control equipment and a motor. Excluded are traction for railway applications and electrical vehicle drives.

It applies to power drive systems (see figure 1) with converter voltages (line-to-line voltage), between 1 kV a.c. and 35 kV a.c., input side 50 Hz or 60 Hz, and load side frequencies up to 600 Hz. Requirements for voltages above 15 kV are not included and are defined by agreement between the manufacturer and the system supplier.

For power drive systems, with voltages above 1 kV, using a step-down input transformer and/or a step-up output transformer in connection with a low voltage converter (below 1 000 V), IEC 61800-2 applies.

EMC aspects are covered in IEC 61800-3.

Specific safety requirements for drive systems with voltage above 1 kV will be covered in IEC 61800-5.

This standard gives the characteristics of the converters, their topologies and their relationship with the complete a.c. drive system. It also states their performance requirements with respect to ratings, normal operating conditions, overload conditions, surge withstand capabilities, stability, protection, a.c. line earthing, topologies and testing. Furthermore, it deals with application guidelines, such as control strategies, torsion analysis, recommendations for earthing and drive system component integration.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-2:1972, *Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)*
Amendment 1 (1995)
Amendment 2 (1996)

CEI 60034-2A:1974, *Machines électriques tournantes – Deuxième partie: Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction) – Premier complément: Mesure des pertes par la méthode calorimétrique*

CEI 60034-5, *Machines électriques tournantes – Cinquième partie: Classification des degrés de protection procurés par les enveloppes des machines électriques tournantes (code IP)*

CEI 60034-6:1991, *Machines électriques tournantes – Partie 6: Modes de refroidissement (Code IC)*

CEI 60034-7: *Machines électriques tournantes – Partie 7: Classification des formes de construction et les dispositions de montage (Code IM)*

CEI 60034-9:1997, *Machines électriques tournantes – Partie 9: Limites de bruits*

CEI 60034-14:1996, *Machines électriques tournantes – Partie 14: Vibrations mécaniques de certaines machines de hauteur d'axe supérieure ou égale à 56 mm – Mesurage, évaluation et limites de la vibration*

CEI 60034-17:1998, *Machines électriques tournantes – Partie 17: Moteurs à induction à cage alimentés par convertisseurs – Guide d'application*

CEI 60034-18-31:1992, *Machines électriques tournantes – Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Section 31: Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation thermique et classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines jusqu'à et y compris 50 MVA et 15 kV*
Amendement 1 (1996)

CEI 60038:1983, *Tensions normales de la CEI*
Amendement 1 (1994)
Amendement 2 (1997)

CEI 60050-111:1996, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 111: Physique et chimie*

CEI 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050-351:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 351: Commande et régulation automatiques*

CEI 60050-441:1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Appareillage et fusibles*
Amendement1 (2000)

CEI 60050-551:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 551: Electronique de puissance*

CEI 60050-601:1985, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*
Amendement 1 (1998)

CEI 60076-1:2000, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

CEI 60076-2:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 2: Echauffement*

IEC 60034-2A:1974, *Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles) – First supplement: Measurement of losses by the calorimetric method*

IEC 60034-5, *Rotating electrical machines – Part 5: Degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines (IP code) – Classification*

IEC 60034-6:1991, *Rotating electrical machines – Part 6: Methods of cooling (IC Code)*

IEC 60034-7, *Rotating electrical machines – Part 7: Classification of types of constructions and mounting arrangements (IM Code)*

IEC 60034-9:1997, *Rotating electrical machines – Part 9: Noise limits*

IEC 60034-14:1996, *Rotating electrical machines – Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher – Measurement, evaluation and limits of vibration*

IEC 60034-17:1998, *Rotating electrical machines – Part 17: Cage induction motors when fed from converters – Application guide*

IEC 60034-18-31:1992, *Rotating electrical machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems – Section 31: Test procedures for form-wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation systems used in machines up to and including 50 MVA and 15 kV*
Amendment 1 (1996)

IEC 60038:1983, *IEC standard voltages*
Amendment 1 (1994)
Amendment 2 (1997)

IEC 60050-111:1996, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 111: Physics and chemistry*

IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-351:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 351: Automatic control*

IEC 60050-441:1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Switchgear, controlgear and fuses*
Amendment 1 (2000)

IEC 60050-551:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 551: Power electronics*

IEC 60050-601:1985, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*
Amendment 1 (1998)

IEC 60076-1:2000, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-2:1993, *Power transformers – Part 2: Temperature rise*

CEI 60076-3:2000, *Transformateurs de puissance – Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air*

CEI 60076-5:2000, *Transformateurs de puissance – Partie 5: Tenue au court-circuit*

CEI 60076-8:1997, *Transformateurs de puissance – Partie 8: Guide d'application*

CEI 60146-1-1:1991, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécifications des clauses techniques de base*

Amendement 1 (1996)

CEI 60146-1-2:1991, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-2: Guide d'application*

CEI 60146-1-3:1991, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-3: Transformateurs et bobines d'inductance*

CEI 60146-2:1999, *Convertisseurs à semiconducteurs – Partie 2: Convertisseurs auto-commutés à semiconducteurs y compris les convertisseurs à courant continu directs*

CEI 60146-6:1992, *Convertisseurs à semiconducteurs – Partie 6: Guide d'application pour la protection par fusibles des convertisseurs contre les surintensités*

CEI 60204-11: *Sécurité des machines – Equipement électrique des machines – Partie 11: Prescriptions pour les équipements HT fonctionnant à des tensions supérieures à 1 000 V c.a. ou 1 500 V c.c. et ne dépassant pas 36 kV*

CEI 60417 (toutes les parties): *Symboles graphiques utilisables sur le matériel*

CEI 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*
Amendement 1 (1999)

CEI 60664-1:2000, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais*

CEI 60721-3-1:1997, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 1: Stockage*

CEI 60721-3-2:1997, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 2: Transport*

CEI 60721-3-3:1994, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 3: Utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries*

Amendement 1 (1995)

Amendement 2 (1996)

CEI 60726:1982, *Transformateurs de puissance de type sec*
Amendement 1 (1986)

CEI 61000-2-4:1994, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 4: Niveaux de compatibilité dans les installations industrielles pour les perturbations conduites à basse fréquence*

IEC 60076-3:2000, *Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*

IEC 60076-5:2000, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit*

IEC 60076-8:1997, *Power transformers – Part 8: Application guide*

IEC 60146-1-1:1991, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-1: Specifications of basic requirements*
Amendment 1 (1996)

IEC 60146-1-2:1991, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-2: Application guide*

IEC 60146-1-3:1991, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-3: Transformers and reactors*

IEC 60146-2:1999, *Semiconductor convertors – Part 2: Self-commutated semi-conductor convertors including direct d.c. convertors*

IEC 60146-6:1992, *Semiconductor convertors – Part 6: Application guide for the protection of semiconductor convertors against overcurrent by fuses*

IEC 60204-11:2000, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 11: Requirements for HV equipment for voltages above 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and not exceeding 36 kV*

IEC 60417 (all parts): *Graphical symbols for use on equipment*

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*
Amendment 1 (1999)

IEC 60664-1:2000, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60721-3-1:1997, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 1: Storage*

IEC 60721-3-2:1997, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 2: Transportation*

IEC 60721-3-3:1994, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 3: Stationary use at weather protected locations*
Amendment 1 (1995)
Amendment 2 (1996)

IEC 60726:1982, *Dry type power transformers*
Amendment 1 (1986)

IEC 61000-2-4:1994, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 4: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances*

CEI 61000-4-7:1991, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 7: Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'inter-harmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés*

CEI 61136-1:1992, *Convertisseurs de puissance à semiconducteurs – Entraînements électriques à vitesse variable – Prescriptions générales – Partie 1: Spécifications de dimensionnement, en particulier pour les entraînements à moteurs à courant continu*

CEI 61378-1:1997, *Transformateurs de conversion – Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles*

CEI 61800-2:1998, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 2: Exigences générales – Spécifications de dimensionnement pour systèmes d'entraînement de puissance à fréquence variable en courant alternatif et basse tension*

CEI 61800-3:1996, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 3: Norme de produit relative à la CEM incluant des méthodes d'essais spécifiques*

ISO 1680:1999, *Acoustique – Code d'essai pour le mesurage du bruit aérien émis par les machines électriques tournantes*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61800, les définitions suivantes, ainsi que celles données dans la CEI 60050(111), la CEI 60050(151), la CEI 60050(351), la CEI 60050(441), la CEI 60050(551), la CEI 60050(601), la CEI 60146-1-1, la CEI 60146-1-2 et la CEI 60146-1-3 s'appliquent.

3.1 Système

3.1.1

entraînement de puissance alternatif (PDS) à tension supérieure à 1 kV (voir figure 1)
système composé:

- d'un équipement de puissance (filtres harmoniques éventuels, transformateur d'entrée, section convertisseur, transformateur de sortie éventuel, moteur alternatif);
- d'un contrôle, de protections et d'auxiliaires.

NOTE 1 La figure 1 montre les principaux éléments fonctionnels. Elle comporte également des équipements qui peuvent être en option sur de nombreux entraînements. Elle a pour objet de couvrir une large diversité de configurations possibles d'entraînements alternatifs. La section convertisseur n'est pas un exemple et n'implique pas de topologie spécifique utilisant un type spécifique de composants de commutation en raison de la grande variété des combinaisons en usage courant. Un filtre d'entrée et/ou de sortie peut être inclus dans la section convertisseur (à l'exception des filtres harmoniques qui sont comptés par ailleurs). Voir article 4 et annexe A.

IEC 61000-4-7:1991, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*

IEC 61136-1:1992, *Semiconductor power convertors – Adjustable speed electric drive systems – General requirements – Part 1: Rating specifications, particularly for d.c. motor drives*

IEC 61378-1:1997, *Converter transformers – Part 1: Transformers for industrial applications*

IEC 61800-2:1998, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 2: General requirements – Rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems*

IEC 61800-3:1996, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC product standard including specific test methods*

ISO 1680:1999, *Acoustics – Test code for the measurement of airborne noise emitted by rotating electrical machines*

3 Definitions

For the purposes of this part of IEC 61800, the following definitions, and the definitions given in IEC 60050(111), IEC 60050(151), IEC 60050(351), IEC 60050(441), IEC 60050(551), IEC 60050(601), IEC 60146-1-1, IEC 60146-1-2, and IEC 60146-1-3 apply.

3.1 System

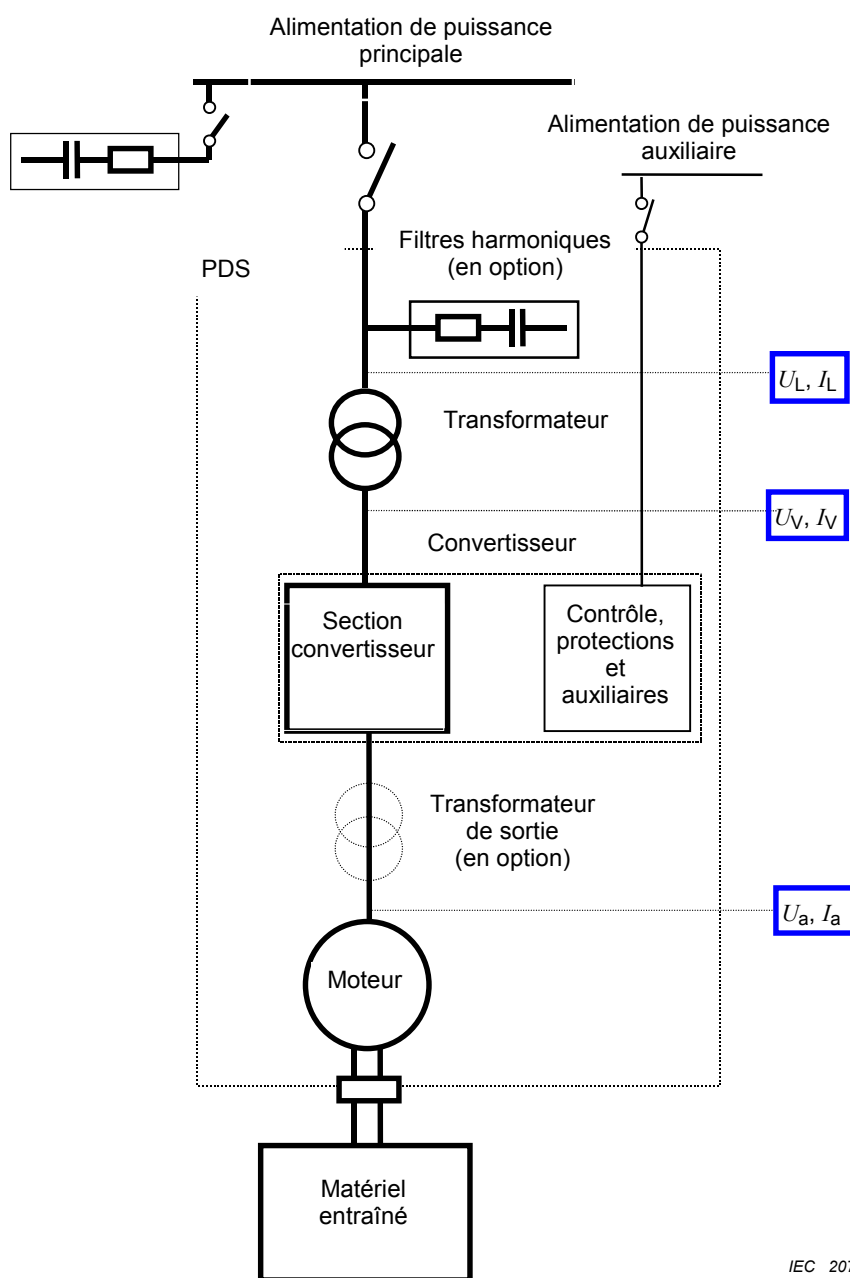
3.1.1

a.c. power drive system (PDS) with voltage above 1 kV (see figure 1)

system consisting of:

- power equipment (possible harmonic filters, input transformer, converter section, possible output transformer, a.c. motor);
- control, protection and auxiliaries

NOTE 1 Figure 1 illustrates the main functional elements. It also includes equipment which may be optional on many drive systems. It is intended to encompass a wide variety of a.c. drive configuration possibilities. The converter section does not illustrate or imply a specific topology using a specific type of switching device, due to the wide variety of combinations in current use. An input and/or output filter may be included in the converter section (except harmonic filters, which are listed separately). See clause 4 and annex A.



IEC 2075/02

Figure 1 – Schéma fonctionnel d'un entraînement à vitesse variable à courant alternatif (PDS) – Tension supérieure à 1 kV

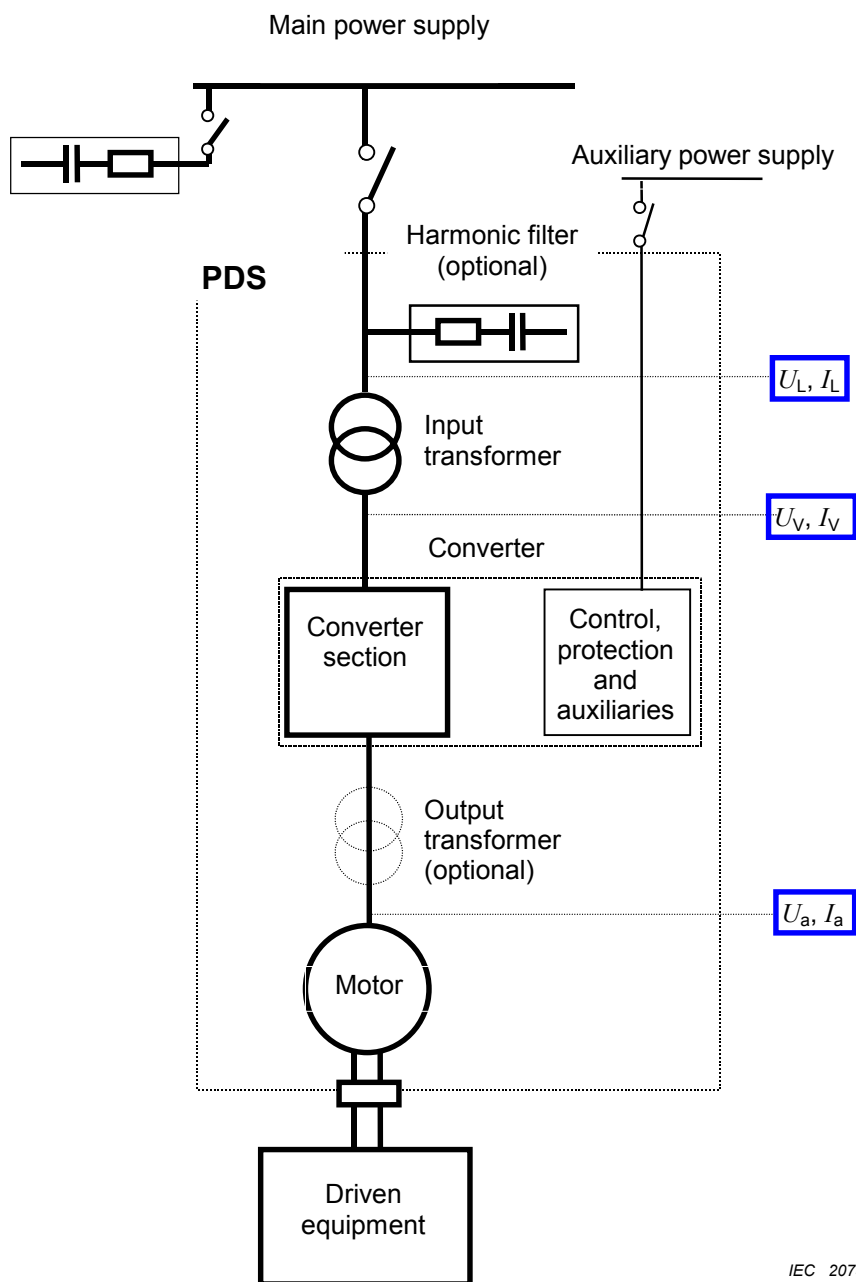
NOTE 2 U_a représente la tension de sortie du convertisseur et U_A représente la tension aux bornes du moteur. Dans le cas où il n'y a pas de transformateur de sortie et où la longueur de câble est faible, $U_a = U_A$.

NOTE 3 L'alimentation des auxiliaires peut aussi être générée en interne de l'entraînement, si on peut considérer que cette source est suffisamment fiable.

3.1.2 point de couplage

PCC, IPC, PC: ces définitions sont données dans la CEI 61000-2-4:

- le PCC est le point de couplage commun sur un réseau public;
- l'IPC est le point de couplage dans l'installation;
- le PC est le point de couplage (dans l'un et l'autre cas).



IEC 2075/02

Figure 1 – Functional diagram of an a.c. adjustable speed power drive system (PDS) – Voltage above 1 kV

NOTE 2 U_a represents the output voltage of the converter and U_A represents the voltage at the terminals of the motor. In the case where there is no output transformer and moderate cable lengths, $U_a = U_A$.

NOTE 3 Auxiliary supply may also be derived internally from the PDS, if it is considered sufficiently reliable.

3.1.2

point of coupling

PCC, IPC, PC: these definitions are given in IEC 61000-2-4:

- PCC is the point of common coupling on a public network;
- IPC is the in-plant point of coupling on a private network;
- PC is the point of coupling for either of these cases

3.1.3

filtre harmonique

circuit défini en vue de réduire l'injection de courant harmonique dans le réseau de puissance associé

3.1.4

récupération

transfert de l'énergie mécanique du système par conversion et restitution sous la forme d'énergie électrique au réseau d'alimentation

NOTE En récupération, le moteur fonctionne en génératrice et son dimensionnement peut être différent.

3.1.5

rendement de l'entraînement, η_D

le rendement, η_D , de l'entraînement est le rapport de la puissance mécanique délivrée par l'arbre moteur à la puissance totale consommée sur les réseaux d'alimentation (voir figure 1 et figure 25), et est habituellement exprimé en pourcentage

NOTE La puissance des auxiliaires ainsi que celle de toute excitation qui serait nécessaire sont comprises dans la puissance consommée en entrée.

3.1.6

rendement de la conversion, η_C

le rendement de la conversion, η_C , est le rapport de la puissance délivrée par le convertisseur à la puissance totale consommée sur les réseaux d'alimentation, y compris pour alimenter les auxiliaires du convertisseur (voir figure 1 et figure 25), et est usuellement exprimé en pourcentage

3.1.7

fréquence fondamentale

une fréquence, dans le spectre obtenu à partir de la transformée de Fourier d'une fonction du temps, à laquelle toutes les fréquences du spectre sont référencées. Pour les besoins de cette partie de la CEI 61800, la fréquence fondamentale est celle du réseau, ou celle d'alimentation du moteur en fonction du côté qui est considéré

[VEI 101-14-50, modifiée]

NOTE 1 La fréquence fondamentale est généralement égale à la fréquence de la fonction elle-même, lorsque celle-ci est périodique (voir VEI 551-20-03 et VEI 551-20-01). La définition ci-dessus correspond à la définition de la «fréquence fondamentale de référence» selon VEI 551-20-04 et VEI 551-20-02, dans lesquelles le terme «référence» peut être omis s'il n'y a aucun risque d'ambiguïté. Cette définition a été adoptée pour la révision de la CEI 61000-2-2 et de la CEI 61000-2-4.

NOTE 2 Si un risque quelconque d'ambiguïté devait subsister, il conviendrait de référencer la fréquence de l'alimentation de puissance à la polarité et à la vitesse de rotation des moteurs électriques accrochés au réseau.

NOTE 3 Cette définition peut s'appliquer à tout réseau industriel d'alimentation électrique, sans préjuger de la charge (charge unique, combinaison de charges, machines tournantes ou autres), et elle peut même s'appliquer si le générateur qui alimente le réseau est un convertisseur statique.

3.1.8

composante fondamentale (ou fondamental)

composante dont la fréquence est la fréquence fondamentale

3.1.9

fréquence harmonique (rang h)

une fréquence qui est un multiple entier de la fréquence fondamentale, le rapport de la fréquence harmonique à la fréquence fondamentale est appelé rang harmonique (notation recommandée « h ») (voir VEI 551-20-05, VEI 551-20-07 et VEI 551-20-09)

3.1.10

composante harmonique

n'importe laquelle des composantes ayant une fréquence harmonique, sa valeur s'exprime normalement en valeur efficace

NOTE Brièvement, une telle composante est désignée par le terme harmonique.

3.1.3**harmonic filter**

circuit designed to reduce the flow of harmonic currents into the associated power system

3.1.4**regeneration**

process of converting the mechanical energy of the system to electrical energy and transferring it to the input supply

NOTE During regeneration the motor is working as a generator and the ratings of the motor may be different.

3.1.5**PDS efficiency, η_D**

the efficiency, η_D , of the drive system is the ratio of the power delivered by the motor shaft to the total power drawn from the input power supply feeding lines (see figure 1 and figure 25), and is usually expressed as a percentage

NOTE Auxiliaries and any needed excitation power are included in the power drawn from the input.

3.1.6**power conversion efficiency, η_C**

the efficiency, η_C , of the power conversion is the ratio of the power delivered by the converter to the total power drawn from the input power supplies feeding lines, including the converter auxiliaries (see figure 1 and figure 25), and is usually expressed as a percentage

3.1.7**fundamental frequency**

a frequency, in the spectrum obtained from a Fourier transform of a time function, to which all the frequencies of the spectrum are referred. For the purpose of IEC 61800, the fundamental frequency is the same as the power frequency supplying the converter, or supplied by the converter according to the case which is considered

[IEV 101-14-50 modified]

NOTE 1 In the case of a periodic function, the fundamental frequency is generally equal to the frequency of the function itself (see IEV 551-20-03 and IEV 551-20-01). The above definition corresponds to the genuine definition of "reference fundamental frequency" according to IEV 551-20-04 and IEV 551-20-02, for which the term "reference" may be omitted where there is no risk of ambiguity. This definition has been adopted for the revision of IEC 61000-2-2 and IEC 61000-2-4.

NOTE 2 In case of any remaining risk of ambiguity, the power supply frequency should be referred to the polarity and speed of rotation of the synchronous generator(s) feeding the system.

NOTE 3 This definition may be applied to any industrial power supply network, without regard to the load it supplies (a single load or a combination of loads, rotating machines or other load), and even if the generator feeding the network is a static converter.

3.1.8**fundamental component (or fundamental)**

the component whose frequency is the fundamental frequency

3.1.9**harmonic frequency (order h)**

a frequency which is an integer multiple of the fundamental frequency, the ratio of the harmonic frequency to the fundamental frequency is named harmonic order (recommended notation " h ") (see IEV 551-20-05, IEV 551-20-07 and IEV 551-20-09)

3.1.10**harmonic component**

any of the components having a harmonic frequency, its value is normally expressed as a r.m.s. value

NOTE For brevity, such a component may be referred to simply as a harmonic.

3.1.11

fréquence interharmonique

n'importe quelle fréquence qui n'est pas un multiple entier de la fréquence fondamentale (voir VEI 551-20-05, VEI 551-20-07 et VEI 551-20-09)

NOTE 1 Par extension du rang harmonique, le rang interharmonique est le rapport de la fréquence interharmonique à la fréquence fondamentale, ce rapport n'est pas un nombre entier (notation recommandée «*m*»).

NOTE 2 On peut aussi utiliser le terme fréquence sous-harmonique dans le cas où «*m* < 1 » (voir VEI 551-20-10).

3.1.12

composante interharmonique

une composante ayant une fréquence interharmonique, sa valeur s'exprime normalement en valeur efficace

NOTE 1 Brièvement, une telle composante est désignée par le terme interharmonique.

NOTE 2 Pour les besoins de la CEI 61800, et ainsi qu'établi dans la CEI 61000-4-7, la fenêtre d'observation a une durée de 10 périodes fondamentales (pour les systèmes à 50 Hz) ou 12 périodes fondamentales (pour les systèmes à 60 Hz), soit approximativement 200 ms. La différence de fréquence entre deux composantes interharmoniques consécutives est donc d'environ 5 Hz. Dans le cas d'une fréquence fondamentale autre, il convient de choisir la durée de la période d'observation entre 6 fois la période fondamentale (environ 1 000 ms à 6 Hz) et 18 fois la période fondamentale (environ 100 ms à 180 Hz).

3.1.13

résidu harmonique (*HC*)

sommes des composantes harmoniques d'une grandeur périodique [VEI 551-20-12]

NOTE 1 Le résidu harmonique est une fonction du temps.

NOTE 2 Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

NOTE 3 Le résidu harmonique dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte on indique de quelle composante il s'agit.

NOTE 4 Dans la pratique, la somme est limitée au rang *H*.

NOTE 5 La valeur efficace du résidu harmonique est:

$$HC = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} Q_h^2}$$

où

h est le rang harmonique (conformément à 3.1.9);

Q_h est la valeur efficace de la composante harmonique de rang *h*;

H est égal à 40 pour les besoins de cette norme.

3.1.14

taux de distorsion harmonique total, *THD*

rapport de la valeur efficace du résidu harmonique à la valeur efficace de la composante fondamentale ou de la composante fondamentale de référence d'une grandeur alternative

[VEI 551-20-13]

$$THD = \frac{HC}{Q_1} = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2}$$

où

Q représente soit le courant, soit la tension;

Q₁ est la valeur efficace de la composante fondamentale;

h est le rang harmonique (conformément à 3.1.9);

Q_h est la valeur efficace de la composante harmonique de rang *h*;

H est égal à 40 pour les besoins de cette norme.

3.1.11**interharmonic frequency**

any frequency which is not an integer multiple of the fundamental frequency (see IEC 551-20-05, IEC 551-20-07 and IEC 551-20-09)

NOTE 1 By extension of the harmonic order, the interharmonic order is the ratio of interharmonic frequency to the fundamental frequency, this ratio is not an integer (recommended notation “*m*”).

NOTE 2 In the case where “*m* < 1” the term of sub-harmonic frequency may also be used (see IEC 551-20-10).

3.1.12**interharmonic component**

a component having an interharmonic frequency, its value is normally expressed as an r.m.s. value

NOTE 1 For brevity, such a component may be referred to simply as an interharmonic

NOTE 2 For the purpose of IEC 61800, and as stated in IEC 61000-4-7, the time window has a width of 10 fundamental periods (50 Hz systems) or 12 fundamental periods (60 Hz systems), i.e. approximately 200 ms. The difference in frequency between two consecutive interharmonic components is, therefore, approximately 5 Hz. In case of other fundamental frequencies, the time window should be selected between 6 fundamental periods (approximately 1 000 ms at 6 Hz) and 18 fundamental periods (approximately 100 ms at 180 Hz).

3.1.13**harmonic content, *HC***

sum of the harmonic components of a periodic quantity

[IEV 551-20-12]

NOTE 1 The harmonic content is a time function.

NOTE 2 For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

NOTE 3 The harmonic content depends on the choice of the fundamental component. If it is not clear from the context which one is used an indication should be given.

NOTE 4 In practice, the sum is limited to the order *H*.

NOTE 5 The r.m.s. value of the harmonic content is:

$$HC = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} Q_h^2}$$

where

h is the harmonic order (according to 3.1.9);

Q_h is the r.m.s. value of the harmonic component of order *h*;

H is 40 for the purposes of this standard.

3.1.14**total harmonic distortion, *THD***

ratio of the r.m.s. value of the harmonic content to the r.m.s. value of the fundamental component or the reference fundamental component of an alternating quantity

[IEV 551-20-13]

$$THD = \frac{HC}{Q_1} = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2}$$

where

Q represents either current or voltage

Q₁ is the r.m.s. value of the fundamental component;

h is the harmonic order (according to 3.1.9);

Q_h is the r.m.s. value of the harmonic component of order *h*;

H is 40 for the purposes of this standard.

3.1.15

résidu total de distorsion, DC

quantité obtenue en soustrayant d'une grandeur alternative sa composante fondamentale ou sa composante fondamentale de référence [IEV 551-20-11]

NOTE 1 Le résidu total de distorsion contient les composantes harmoniques et, s'il y en a, les composantes interharmoniques.

NOTE 2 Le résidu total de distorsion dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte on indique de quelle composante il s'agit.

NOTE 3 Le résidu total de distorsion est une fonction du temps.

NOTE 4 Une grandeur alternative est une grandeur périodique dont la composante continue est nulle.

NOTE 5 La valeur efficace du résidu total de distorsion est:

$$DC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}$$

où, en plus des notations de 3.1.14:

Q est la valeur efficace totale de la quantité;

voir aussi VEI 101-14-54.

3.1.16

rapport total de distorsion, TDR

rapport de la valeur efficace du résidu total de distorsion à la valeur efficace de la composante fondamentale ou de la composante fondamentale de référence d'une grandeur alternative

[VEI 551-20-14, modifiée]

$$TDR = \frac{DC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

NOTE 1 Le rapport total de distorsion dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte on indique de quelle composante il s'agit.

NOTE 2 Le rapport total de distorsion peut faire l'objet d'une approximation à un certain rang. Les conditions de l'approximation sont alors indiquées.

NOTE 3 THD peut être considéré comme une approximation de TDR lorsque les interharmoniques sont négligés en raison de leur faible amplitude.

NOTE 4 L'onde de la tension réseau est usuellement bien moins déformée que celle du courant. En conséquence, l'évaluation des deux termes relatifs à la tension, le taux de distorsion harmonique THD et le rapport total de distorsion TDR , fournit le même résultat. On peut noter une différence significative lorsqu'on les applique au courant.

3.1.17

facteur total de distorsion, TDF

rapport de la valeur efficace du résidu total de distorsion à la valeur efficace d'une grandeur alternative

[VEI 551-20-16, modifiée et VEI 101-14-55, modifiée]

$$TDF = \frac{DC}{Q} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

NOTE 1 Le facteur total de distorsion dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte on indique de quelle composante il s'agit.

NOTE 2 Le rapport entre TDF et TDR est égal au rapport entre la valeur efficace de la composante fondamentale et la valeur efficace totale. Il s'agit du taux de fondamental [VEI 551-20-17 et VEI 161-02-22]:

$$FF = \frac{Q_1}{Q} = \frac{TDF}{TDR} \leq 1$$

3.1.18

distorsion harmonique individuelle, IDR

rapport de la valeur efficace d'un harmonique ou d'un interharmonique à la valeur efficace du fondamental

3.1.15**total distortion content, DC**

quantity obtained by subtracting from an alternating quantity its fundamental component or its reference fundamental component

[IEV 551-20-11]

NOTE 1 The total distortion content includes harmonic components and interharmonic components if any.

NOTE 2 The total distortion content depends on the choice of the fundamental component. If it is not clear from the context which one is subtracted an indication should be given.

NOTE 3 The total distortion content is a time function.

NOTE 4 An alternating quantity is a periodic quantity with zero DC component.

NOTE 5 The r.m.s. value of the total distortion content is

$$DC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}$$

where in addition to notations in 3.1.14:

Q is the total r.m.s. value of the quantity;

see also IEC 101-14-54.

3.1.16**total distortion ratio, TDR**

ratio of the r.m.s. value of the total distortion content to the r.m.s value of the fundamental component or the reference fundamental component of an alternating quantity

[IEV 551-20-14]

$$TDR = \frac{DC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

NOTE 1 The total distortion ratio depends on the choice of the fundamental component. If it is not clear from the context which one is used an indication should be given.

NOTE 2 The total distortion ratio may be approximated to a certain harmonic order. This is to be stated.

NOTE 3 THD may be considered as an approximation of TDR where interharmonics are disregarded due to their low amplitude.

NOTE 4 The waveform of the voltage on the distribution network is usually less distorted than the waveform of the current. Therefore, the assessment of these two ratios related to voltage, total harmonic distortion THD and total distortion ratio TDR , leads to the same result. There may be a significant difference when applied to current.

3.1.17**total distortion factor, TDF**

ratio of the r.m.s. value of the total distortion content to the r.m.s. value of an alternating quantity

[IEV 551-20-16 and IEC 101-14-55]

$$TDF = \frac{DC}{Q} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

NOTE 1 The total distortion ratio depends on the choice of the fundamental component. If it is not clear from the context which one is used an indication should be given.

NOTE 2 The ratio between TDF and TDR equals the ratio between the r.m.s. value of the fundamental component and the total r.m.s. value. It is the fundamental factor [IEV 551-20-17 and IEC 161-02-22]:

$$FF = \frac{Q_1}{Q} = \frac{TDF}{TDR} \leq 1$$

3.1.18**individual harmonic distortion, IDR**

ratio of any component to the fundamental

3.1.19

harmoniques caractéristiques de courant

rang des harmoniques de courant produit par un convertisseur en fonctionnement normal

NOTE 1 Par exemple, pour un convertisseur d'indice de pulsation 6, les harmoniques caractéristiques de courant sont impaires, non multiples de 3, $h = 6k \pm 1$ (k suite des entiers naturels).

NOTE 2 En plus des harmoniques de la fréquence du réseau, il peut y avoir d'autres harmoniques résultant de l'interaction avec la charge du convertisseur. Ils sont appelés interharmoniques.

3.1.20

tension assignée

valeur efficace de la tension de ligne (entre phases) dans les conditions assignées

Primaire du transformateur d'entrée: U_{LN}

Entrée du convertisseur: U_{VN}

Sortie du convertisseur: U_{aN}

Moteur: U_{AN}

3.1.21

tension fondamentale assignée

valeur efficace de la tension fondamentale dans les conditions assignées

Primaire du transformateur d'entrée: U_{LN1}

Entrée du convertisseur: U_{VN1}

Sortie du convertisseur: U_{aN1}

Moteur: U_{AN1}

3.1.22

courant alternatif assigné

valeur efficace du courant alternatif dans les conditions assignées

Primaire du transformateur d'entrée: I_{LN}

Entrée du convertisseur: I_{VN}

Sortie du convertisseur: I_{aN}

Moteur: I_{AN}

3.1.23

courant fondamental assigné

valeur efficace de la composante fondamentale du courant dans les conditions assignées

Primaire du transformateur d'entrée: I_{LN1}

Entrée du convertisseur: I_{VN1}

Sortie du convertisseur: I_{aN1}

Moteur: I_{AN1}

3.1.24

capacité de surcharge

courant maximal pouvant être fourni, pendant une durée déterminée, sans excéder les limitations établies dans des conditions de fonctionnement prescrites

Primaire du transformateur d'entrée: I_{LM}

Entrée du convertisseur: I_{VM}

Sortie du convertisseur: I_{aM}

Moteur: I_{AM}

3.1.19**characteristic current harmonics**

orders of the current harmonics produced by converter equipment in the course of normal operation

NOTE 1 For example, in a six-pulse converter the characteristic current harmonics are the non triple, odd harmonics, $h = 6k \pm 1$ (k any integer).

NOTE 2 In addition to power system frequency harmonics, there can be other harmonics resulting from interaction with the converter load. They are called interharmonics.

3.1.20**rated voltage**

the r.m.s. line-to-line voltage under rated conditions

Primary side of input transformer: U_{LN}

Converter input: U_{VN}

Converter output: U_{aN}

Motor voltage: U_{AN}

3.1.21**rated fundamental voltage**

the r.m.s. value of the fundamental voltage under rated conditions

Primary side of input transformer: U_{LN1}

Converter input: U_{VN1}

Converter output: U_{aN1}

Motor fundamental voltage: U_{AN1}

3.1.22**rated a.c. current**

the r.m.s. value of the a.c. current under rated conditions

Primary side of input transformer: I_{LN}

Converter input: I_{VN}

Converter output: I_{aN}

Rated motor current: I_{AN}

3.1.23**rated fundamental current**

the r.m.s. value of the fundamental component of the current under rated conditions

Primary side of input transformer: I_{LN1}

Converter input: I_{VN1}

Converter output: I_{aN1}

Rated fundamental motor current: I_{AN1}

3.1.24**overload capability**

maximum current which can be supplied, for a specified period of time, without exceeding established limitations under prescribed operating conditions

Primary side of input transformer: I_{LM}

Converter input: I_{VM}

Converter output: I_{aM}

Motor overload current: I_{AM}

3.2 Paramètres d'entrée de l'entraînement

3.2.1

puissance côté réseau, P_L

puissance active totale en entrée côté réseau

3.2.2

puissance apparente côté réseau, S_L

puissance apparente totale en entrée côté réseau

3.2.3

facteur de puissance total en entrée, λ_L

rapport de la puissance totale en entrée à la puissance apparente, défini au point de connexion de l'entraînement à l'alimentation

Exemple: dans un système triphasé dont on admet que la tension est sinusoïdale

$$\lambda_L = \frac{U_L \times I_{L1} \sqrt{3} \times \cos \varphi_{L1}}{U_L \times I_L \times \sqrt{3}} = \frac{I_{L1}}{I_L} \times \cos \varphi_{L1}$$

NOTE 1 Le facteur de puissance combine les effets du facteur de déphasage $\cos \varphi_1$ et des harmoniques au moyen du facteur de déformation $v = \lambda / \cos \varphi$.

NOTE 2 La définition s'applique à l'entrée du convertisseur (indice V) ou à l'entrée du CDM côté réseau (indice L).

3.2.4

déséquilibre de tension

dans un système polyphasé, condition dans laquelle la valeur efficace de la composante fondamentale des tensions entre phases, ou l'angle de déphasage entre deux phases consécutives, ne sont pas égaux

NOTE 1 Le degré de cette inégalité s'exprime usuellement par les rapports de la composante inverse et de la composante homopolaire à la composante directe [VEI 161-08-09, modifiée]

U_{12} , U_{23} and U_{31} sont les trois tensions entre phases, avec $\delta_{ij} = (U_{ij} - U_{\text{moyen}}) / (3 \times U_{\text{moyen}})$ l'écart pour chacune des trois tensions entre phases, et τ le déséquilibre de tension exprimé par le rapport de la composante inverse à la composante directe,

$$\tau = \sqrt{6 \times \sum_1^3 \delta_{ij}^2}$$

NOTE 2 La relation de la note 1 fournit une excellente approximation (avec une erreur inférieure à 5 % pour une fourchette de ± 20 % en amplitudes et $\pm 15^\circ$ en phases par rapport au système équilibré idéal phase neutre correspondant – direct ou inverse). L'approximation nettement plus simple:

$$\tau = (2/3) \times [(U_{\text{max}} - U_{\text{min}}) / U_{\text{moyen}}]$$

donne des résultats acceptables pour des valeurs de τ jusqu'à 7 % (erreur absolue inférieure à 1 %). Une autre approximation simple donne des valeurs avec une erreur comparable:

$$\tau = \text{MAX} [(U_{ij} - U_{\text{moyen}}) / U_{\text{moyen}}].$$

3.2.5

surtension transitoire de la tension d'alimentation

valeur crête instantanée de la tension susceptible d'apparaître entre les phases d'entrée de l'entraînement, celui-ci étant déconnecté

3.2.6

énergie transitoire de l'alimentation

énergie que le réseau peut fournir aux bornes du PDS, en raison d'une surtension transitoire et au cours de celle-ci

3.2 PDS input parameters

3.2.1

line-side input power, P_L

the total active power at the line input

3.2.2

line-side input apparent power, S_L

the total apparent power at the line input

3.2.3

input total power factor, λ_L

ratio of the total power input, to the apparent power, as determined at the connection of the PDS to the supply

Example: in a three-phase system where the voltage is considered sinusoidal

$$\lambda_L = \frac{U_L \times I_{L1} \sqrt{3} \times \cos \phi_{L1}}{U_L \times I_L \times \sqrt{3}} = \frac{I_{L1}}{I_L} \times \cos \phi_{L1}$$

NOTE 1 The power factor includes the effect of displacement $\cos \phi_1$ and of harmonics by means of the deformation factor $v = \lambda / \cos \phi$.

NOTE 2 The definition applies to the converter input (subscript V) or to the CDM input line-side (subscript L).

3.2.4

voltage unbalance (imbalance)

in a polyphase system, a condition in which the r.m.s. values of the fundamental component of the line voltages, or the phase angle between consecutive phases, are not all equal

NOTE 1 The degree of that inequality is usually expressed as the ratios of the negative and zero sequence components to the positive sequence component [IEV 161-08-09, modified]

U_{12} , U_{23} and U_{31} are the three line-to-line voltages, with $\delta_{ij} = (U_{ij} - U_{average}) / (3 \times U_{average})$ the deviation for each of the three line-to-line voltages, and τ the voltage unbalance as the ratio of the negative sequence voltage amplitude to the positive sequence voltage amplitude,

$$\tau = \sqrt{6 \times \sum_{ij} \delta_{ij}^2}$$

NOTE 2 The above formula in note 1 gives an excellent approximation (with an error of less than 5 % for a band of ± 20 % in amplitudes and $\pm 15^\circ$ in phase shift from the corresponding ideal line to neutral balance system – positive sequence or negative sequence). The much more simple approximation:

$$\tau = (2/3) \times [(U_{max} - U_{min}) / U_{average}]$$

provides acceptable results for τ up to 7 % (absolute error less than 1 %). Another simple approximation gives results with a comparable error:

$$\tau = \text{MAX} [(U_{ij} - U_{average}) / U_{average}].$$

3.2.5

supply transient overvoltage

peak instantaneous voltage that may appear between the input lines to the PDS, with the PDS disconnected

3.2.6

supply transient energy

the energy which the supply system, due to a transient, is capable of delivering at the PDS terminals

3.3 Convertisseur

3.3.1

section convertisseur (tension supérieure à 1 kV)

unité électronique de conversion de puissance fonctionnant à une tension supérieure à 1 kV et n'excédant pas 35 kV conformément à la figure 1

3.3.2

filtre d'entrée du convertisseur

circuits raccordés à l'entrée de puissance du convertisseur dans le but de réduire les dv/dt (contraintes de tension appliquées à l'isolement du transformateur) ou de réduire les émissions aux fréquences radioélectriques

3.3.3

tension continue de boucle du convertisseur, U_d

valeur moyenne de la tension sur la boucle à courant continu (côté convertisseur d'entrée)

3.3.4

courant continu de boucle du convertisseur, I_d

valeur moyenne du courant sur la boucle à courant continu (côté convertisseur d'entrée)

3.3.5

circuit d'aide à la commutation

élément de circuit raccordé à un ou plusieurs composants électroniques de puissance en vue de diminuer les contraintes appliquées relatives aux variations rapides de courant ou de tension, aux surtensions transitoires, aux pertes de commutation, etc.

3.3.6

boucle à courant continu

circuit de puissance à courant continu reliant, dans un convertisseur indirect, le convertisseur d'entrée au convertisseur de sortie, il est constitué de condensateurs et/ou de bobines d'inductances afin de réduire l'ondulation de la tension continue ou l'ondulation du courant continu

3.3.7

filtre de sortie du convertisseur

circuits raccordés à la sortie de puissance du convertisseur dans le but de réduire les dv/dt (contrainte de tension appliquée à l'isolement du moteur et génératrice de courants de paliers) ou de réduire les harmoniques (pertes)

3.3.8

puissance alternative de sortie du convertisseur, P_{a1}

puissance fondamentale aux bornes de sortie du convertisseur

3.3.9

puissance apparente de sortie du convertisseur, S_a

puissance apparente totale aux bornes de sortie du convertisseur

3.3.10

courant de court-circuit dynamique en sortie

courant transitoire, continu ou alternatif, circulant dans un court-circuit aux bornes de sortie du convertisseur

3.3.11

plage de fréquence de fonctionnement

plage de fréquences fondamentales sur laquelle le convertisseur peut fonctionner ($f_{\min}$, $f_{\max}$), dans des conditions de charge spécifiées

3.3 Converter

3.3.1

converter section (voltage above 1 kV)

electronic power converter unit operating at voltage above 1 kV and not exceeding 35 kV according to figure 1

3.3.2

converter input filter

circuits connected to the power input of the converter to reduce dv/dt (voltage stress of transformer insulation) or radio frequency emissions

3.3.3

converter d.c. link voltage, U_d

average value of the voltage in the d.c. link (on the input converter side)

3.3.4

converter d.c. link current, I_d

average value of the current in the d.c. link (on the input converter side)

3.3.5

snubber (circuit)

a sub-circuit connected to one or more power semiconductor devices in order to relieve it (them) of stress in regard of high rate of rise of current or voltage, overvoltage transients, switching losses, etc.

3.3.6

d.c. link

power d.c. circuit linking the input converter and the output converter of an indirect converter, consisting of capacitors and/or reactors to reduce d.c. voltage or d.c. current ripple

3.3.7

converter output filter

circuits connected to the power output of the converter to reduce dv/dt (voltage stress of motor insulation and generating bearing currents) or harmonics (losses)

3.3.8

a.c. converter output power, P_{a1}

the fundamental power at the converter output terminals

3.3.9

apparent converter output power, S_a

the total apparent power at the converter output terminals

3.3.10

dynamic short-circuit output current

the transient d.c. or a.c. current which flows from the converter into a short-circuit across the output terminals

3.3.11

operating frequency range

range of fundamental frequencies over which the converter output is controlled ($f_{\min}$, $f_{\max}$), under specified load conditions

3.4 Paramètres de sortie du moteur et du système

3.4.1

enveloppe de charge

caractéristique en couple et vitesse définissant les conditions de fonctionnement permanent de l'entraînement

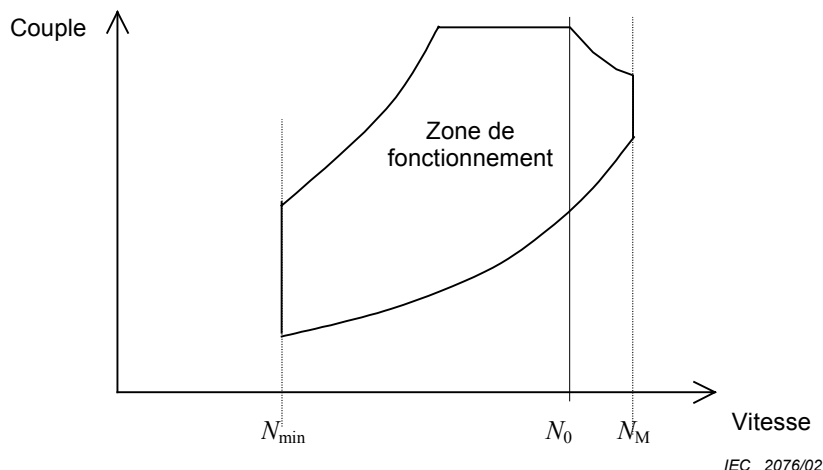


Figure 2 – Exemple d'enveloppe de charge

3.4.2

vitesse minimale de fonctionnement, $N_{\min}$

vitesse minimale de fonctionnement du moteur définie pour le matériel entraîné

3.4.3

vitesse maximale de fonctionnement, N_M

vitesse maximale de fonctionnement du moteur définie pour le matériel entraîné

3.4.4

vitesse de base, N_0

la plus grande vitesse du moteur pour laquelle l'entraînement peut fournir en permanence le couple assigné

NOTE La vitesse de base est le point de transition entre le fonctionnement à couple constant et le fonctionnement défluxé.

3.4.5

fonctionnement défluxé

fonctionnement à flux réduit dans la zone de vitesse comprise entre la vitesse de base (N_0) et la vitesse maximale (N_M)

3.4.6

pulsation de couple d'entrefer

fluctuation périodique du couple d'entrefer en régime permanent définie en valeur crête à crête

3.5 Contrôle

3.5.1

système de contrôle

système électronique qui fournit les ordres d'action au convertisseur de puissance et les informations d'état en résultat des diverses commandes et contre-réactions

3.4 PDS output parameters

3.4.1

load envelope

area in torque versus speed in which the PDS is intended to operate under continuous load conditions

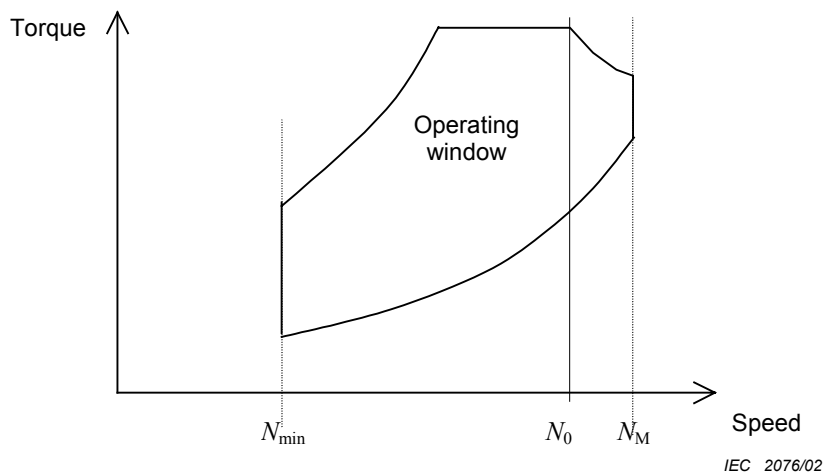


Figure 2 – Example of load envelope

3.4.2

minimum operating speed, N_{min}

minimum motor operating speed required by driven equipment

3.4.3

maximum operating speed, N_M

maximum motor operating speed required by driven equipment

3.4.4

base speed, N_0

highest motor speed at which the PDS is capable to deliver continuously the rated torque

NOTE Base speed is the transition point between constant torque and field weakening operation.

3.4.5

field weakening operation

operation with reduced flux in a speed range between base speed (N_0) and maximum speed (N_M)

3.4.6

air-gap torque pulsation

cyclic fluctuation of motor air-gap torque at under steady-state conditions, defined as peak-to-peak value

3.5 Control

3.5.1

control system

electronic system which provides actuation of the power converter and status information as a result of various commands and feedbacks

3.5.2

variable contrôlée

variable du système, contrôlée en boucle ouverte ou en boucle fermée dans un entraînement

NOTE Exemples de variable contrôlée: tension, courant stator, fréquence, vitesse, glissement et couple.

3.5.3

variable de service

variable spécifiée, usuellement relative aux conditions ambiantes (par exemple la température), pour laquelle le système bouclé introduit une correction en vue de maintenir la valeur idéale de la variable contrôlée

3.5.4

variable opérationnelle

variable spécifiée (par exemple couple de charge pour un entraînement asservi en vitesse), autre que celle résultant des conditions de service, pour laquelle le système bouclé introduit une correction en vue de maintenir la valeur idéale de la variable contrôlée

3.5.5

contrôle en boucle ouverte

contrôle qui n'utilise pas la mesure de la variable contrôlée

3.5.6

contrôle en contre-réaction/contrôle en boucle fermée

contrôle dans lequel l'action dépend de la mesure de la variable contrôlée.

3.5.7

excitation

une quelconque excitation d'un système provoquant une réponse

NOTE Des exemples sont donnés en 7.2.2.

3.5.8

perturbation

changement non voulu et le plus fréquemment imprévisible, d'une variable d'entrée autre que la référence

3.5.9

réponse temporelle

variation de la variable de sortie d'un système en fonction du temps, provoquée par une variation spécifiée de l'une des variables d'entrée

3.5.10

réponse indicielle

réponse temporelle d'un système, provoquée par une variation en échelons de l'une des variables d'entrée

NOTE Lorsque la variation de la variable d'entrée est unitaire, la réponse indicielle est appelée réponse indicielle unitaire.

3.6 Essais

3.6.1

essai de type

essai effectué sur un ou plusieurs dispositifs réalisés selon une conception donnée pour vérifier que cette conception répond à certaines spécifications

[VEI 151-16-16, modifiée]

3.5.2**controlled variable**

system variable, in open-loop or closed-loop control of PDS

NOTE Some examples of controlled variables are voltage, stator current, frequency, speed, slip and torque

3.5.3**service variable**

specified variable, usually related to ambient conditions (e.g. temperature), for which the feedback control system is to correct in attempting to maintain the ideal value of the controlled variable

3.5.4**operating variable**

specified variable (e.g. load torque for a speed controlled drive), other than those arising from service conditions, for which the feedback control system is to correct in attempting to maintain the ideal value of the controlled variable

3.5.5**open-loop control**

control which does not use the measurement of the controlled variable

3.5.6**feedback control/closed-loop control**

control in which the control action is dependent on the measurement of the controlled variable

3.5.7**stimulus**

any excitation of a system which causes a reaction in response

NOTE Examples are given in 7.2.2.

3.5.8**disturbance**

undesired and most frequently unpredictable change in an input variable, other than the reference variable

3.5.9**time response**

the variation in time of an output variable of a system, produced by a specified variation of one of the input variables

3.5.10**step response**

the time response of a system produced by a step-wise variation of one of the input variables

NOTE When the variation of the input variable is equal to one unit, the step response is called the unit step response.

3.6 Tests**3.6.1****type test**

test of one or more devices made to a certain design to show that the design meets certain specifications

[IEV 151-16-16 modified]

3.6.2

essai individuel de série

essai auquel est soumis chaque dispositif en cours ou en fin de fabrication pour vérifier qu'il satisfait à des critères définis

[VEI 151-16-17, modifiée]

3.6.3

essai (de série) sur prélèvement

essai effectué sur un certain nombre de dispositifs prélevés au hasard dans un lot

[VEI 151-16-20]

3.6.4

essai spécial

essai qui vient en supplément de l'essai type et de l'essai individuel. Il est décidé par le fournisseur du système ou par un accord entre le fournisseur du système et le client ou son représentant

[CEI 61800-2, 7.1.4, modifiée]

3.6.5

essai de réception (essai d'acceptation)

essai contractuel ayant pour objet de prouver au client que l'entité répond à certaines conditions de sa spécification

[VEI 151-16-23]

3.6.6

essai de mise en service (essai de recette)

essai d'un dispositif ou d'un équipement, effectué sur son lieu d'implantation, et destiné à vérifier son installation correcte et son bon état de marche

[VEI 151-16-24, modifiée]

3.6.7

essai client

n'importe lequel des essais ci-dessus, réalisé en présence de l'acheteur, de l'utilisateur ou de son représentant

[CEI 61800-2, 7.1.8]

3.6.8

essai séparé de composants

essai relatif à chaque composant principal constituant l'entraînement (transformateur, moteur, etc.)

3.6.9

essai de l'entraînement

essai de la totalité de l'entraînement de puissance destiné à vérifier la performance totale du système

3.7 Symboles

Le tableau 1 résume l'ensemble des symboles les plus couramment utilisés.

3.6.2**routine test**

test to which each individual device is subjected during or after manufacture to ascertain whether it complies with certain criteria

[IEV 151-16-17 modified]

3.6.3**sampling test**

test on a number of devices taken at random from a batch

[IEV 151-16-20 modified]

3.6.4**special test**

test additional to type and routine tests, made either at the discretion of the system supplier or according to an agreement between the system supplier and customer or his representative

[IEC 61800-2, 7.1.4 modified]

3.6.5**acceptance test**

contractual test to prove to the customer that the device meets certain conditions of its specification

[IEV 151-16-23]

3.6.6**commissioning test**

test on a device or equipment carried out on site, to prove the correctness of installation and operation

[IEV 151-16-24, modified]

3.6.7**witness test**

any of the above tests performed in the presence of the customer, the user or his representative (IEC 61800-2, 7.1.8)

3.6.8**separate component test**

test on each individual main component which constitutes a PDS (transformer, motor, etc.)

3.6.9**drive system test**

test on total PDS to ascertain total performance of the system

3.7 Symbols

Table 1 summarizes symbols which are the most commonly used.

Tableau 1 – Symboles

Symbole	Unité	Définition	Paramètre
I_{aM}	A	3.1.24	Courant de surcharge
I_{aN}	A	3.1.22	Courant assigné permanent de sortie
I_{aN1}	A	3.1.21	Courant fondamental assigné de sortie
I_d	A	3.3.4	Courant de la boucle à courant continu
I_{LN}	A	3.1.22	Courant assigné alternatif côté réseau de l'entraînement
I_{LN1}	A	3.1.23	Courant fondamental alternatif assigné côté réseau du convertisseur de puissance
I_{VN}	A	3.1.22	Courant assigné d'entrée du convertisseur de puissance
J	kgm ² ou Nms ²		Moment d'inertie
M_d	Nm		Couple d'entrefer (couple électromagnétique)
M_s	Nm		Couple sur l'arbre
N	r/min		Vitesse du moteur
N_0	r/min	3.4.4	Vitesse de base
N_M	r/min	3.4.3	Vitesse maximale de fonctionnement
N_{min}	r/min	3.4.2	Vitesse minimale de fonctionnement
P_{aN1}	W		Puissance assignée en sortie alternative du convertisseur
P_{LN}	W	3.2.1	Puissance assignée d'entrée
P_S	W		Puissance de sortie (sur l'arbre moteur)
R_{SI}		CEI 61800-3 B.2.1.3.6	Rapport de court-circuit $R_{SI}=(S_{SC} \text{ en un oint donné})/S_N$ équipement
S_{aN}	VA		Puissance apparente assignée de sortie
S_{LN}	VA	3.2.2	Puissance apparente assignée d'entrée
TDR_a	%	Voir 3.1.16	Rapport total de distorsion en sortie du convertisseur
TDR_L	%	Voir 3.1.16	Rapport total de distorsion côté réseau (avec interharmoniques)
THD_a	%	Voir 3.1.14	Distorsion harmonique totale en sortie du convertisseur
THD_L	%	Voir 3.1.14	Distorsion harmonique totale côté réseau (sans interharmoniques)
U_{aN}/f_{aN}	V/Hz		Rapport de la tension assignée à la fréquence assignée
U_{aN1}	V	3.1.21	Tension alternative fondamentale assignée côté charge
U_{LN}	V	3.1.20	Tension assignée côté réseau
U_{VN}	V	3.1.20	Tension alternative assignée d'entrée du convertisseur
U_{VN1}	V	3.1.21	Tension alternative fondamentale assignée d'entrée du convertisseur
$\cos \varphi_{L1}$		CEI 61800-2	Facteur de déphasage côté réseau
$\cos \varphi_{V1}$		CEI 61800-2	Facteur de déphasage en entrée du convertisseur
f_{LN}	Hz		Fréquence assignée côté réseau
η_C	%	3.1.6	Rendement de la conversion de puissance
η_D	%	3.1.5	Rendement de l'entraînement
η_M	%	11.1	Rendement du moteur
η_T	%	11.1	Rendement du transformateur
λ_L		3.2.3	Facteur de puissance total à l'entrée

Table 1 – Symbols

Symbol	Unit	Definition	Parameter
I_{aM}	A	3.1.24	Overload current (overload capability)
I_{aN}	A	3.1.22	Rated continuous output current
I_{aN1}	A	3.1.21	Rated fundamental output current
I_d	A	3.3.4	d.c. link current
I_{LN}	A	3.1.22	Line-side a.c. rated current of the PDS
I_{LN1}	A	3.1.23	Line-side fundamental a.c. rated current of the power converter
I_{VN}	A	3.1.22	Rated input current of the power converter
J	kgm ² or Nms ²		Moment of inertia
M_d	Nm		Air gap torque (electromagnetic torque)
M_s	Nm		Shaft torque
N	r/min		Motor speed
N_0	r/min	3.4.4	Base speed
N_M	r/min	3.4.3	Maximum operating speed
N_{min}	r/min	3.4.2	Minimum operating speed
P_{aN1}	W		Rated converter a.c. output power
P_{LN}	W	3.2.1	Rated input power
P_S	W		Output power (on the shaft of the motor)
R_{SI}		IEC 61800-3 B.2.1.3.6	Short-circuit current ratio $R_{SI}=(S_{SC} \text{ at a given point})/S_N$ equipment
S_{aN}	VA		Rated converter apparent output power
S_{LN}	VA	3.2.2	Rated input apparent power
TDR_a	%	See 3.1.16	Converter output total distortion ratio
TDR_L	%	See 3.1.16	Line-side total distortion ratio (with interharmonics)
THD_a	%	See 3.1.14	Converter output total harmonic distortion
THD_L	%	See 3.1.14	Line-side total harmonic distortion (without interharmonics)
U_{aN}/f_{aN}	V/Hz		Rated voltage to rated frequency ratio
U_{aN1}	V	3.1.21	Load side fundamental a.c. rated voltage
U_{LN}	V	3.1.20	Rated system voltage
U_{VN}	V	3.1.20	Converter input rated a.c. voltage
U_{VN1}	V	3.1.21	Converter input rated a.c. fundamental voltage
$\cos \phi_{L1}$		IEC 61800-2	Line-side displacement factor
$\cos \phi_{V1}$		IEC 61800-2	Converter input displacement factor
f_{LN}	Hz		Rated line frequency
η_C	%	3.1.6	Efficiency of power conversion
η_D	%	3.1.5	Efficiency of PDS
η_M	%	11.1	Efficiency of the motor
η_T	%	11.1	Efficiency of the transformer
λ_L		3.2.3	Input total power factor

NOTE 1 L'indice «L» indique l'appartenance des paramètres ou des variables au côté réseau (primaire du transformateur).

NOTE 2 L'indice «V» indique l'appartenance des paramètres ou des variables à l'entrée du convertisseur.

NOTE 3 L'indice «d» indique l'appartenance des paramètres ou des variables à la liaison à courant continu.

NOTE 4 L'indice «a» indique l'appartenance des paramètres ou des variables à la sortie du convertisseur.

NOTE 5 L'indice «A» indique l'appartenance des paramètres ou des variables au côté moteur.

NOTE 6 Le deuxième indice «N» indique la correspondance à une condition assignée.

NOTE 7 Le troisième indice «1» repère la composante fondamentale (de rang 1) d'une variable, etc.

4 Aperçu des topologies des entraînements

4.1 Classification des topologies

Les diverses topologies des systèmes d'entraînement peuvent être classées en fonction des critères principaux suivants:

- configuration du convertisseur;
- mode de commutation;
- type du moteur.

Une combinaison quelconque des cas présentés ci-dessous peut être utilisée pour constituer la topologie d'un entraînement. Des exemples de topologies usuelles d'entraînement sont donnés en annexe A.

La classification des convertisseurs s'établit entre les entraînements équipés de convertisseurs indirects ou de convertisseurs directs. Le second critère de classification concerne le mode de commutation qui peut être une commutation à assistance externe ou une commutation autonome.

4.2 Configuration du convertisseur

4.2.1 Convertisseur indirect

La conversion de puissance d'une fréquence constante et d'une tension alternative constante en entrée à une fréquence et une tension alternative variables en sortie est assurée au moyen d'une boucle intermédiaire à courant continu, comme indiqué à la figure 3.

La boucle à courant continu comprend un ou plusieurs dispositifs de filtrage (inductance en série, condensateur en parallèle, ou les deux).

Dans le cas d'une boucle de courant inductive, le convertisseur moteur est appelé onduleur en source de courant (CSI). Dans le cas d'une boucle à courant continu capacitive, il est désigné par onduleur en source de tension (VSI).

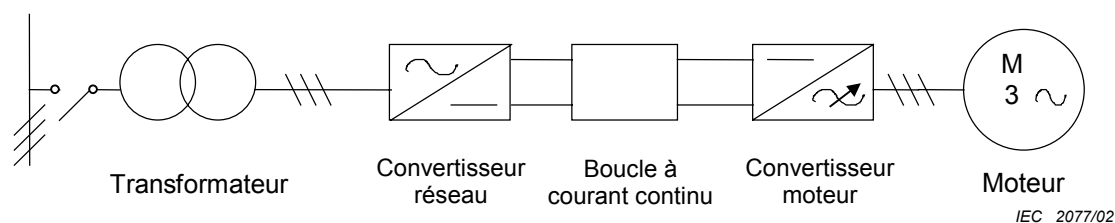


Figure 3 – Structure générale d'un entraînement avec convertisseur indirect

NOTE 1 The index “L” is used for the line side (primary side of transformer) parameters or variables.

NOTE 2 The index “V” is used for the converter input side parameters or variables.

NOTE 3 The index “d” is used for the d.c. link parameters or variables.

NOTE 4 The index “a” is used for the converter output side parameters or variables.

NOTE 5 The index “A” is used for the motor side parameters or variables.

NOTE 6 The second index “N” is used for rated condition.

NOTE 7 The third index “1” is used for the fundamental component of a variable (order 1), etc.

4 Overview of drive system topologies

4.1 Topologies classification

The various drive systems topologies may be classified according to the following main criteria:

- converter configuration;
- commutation mode;
- motor type.

Any combination of the situations below can be used to form a drive system topology. Examples of commonly used drive system topologies are shown in annex A.

The classification of converters is between drive systems with *indirect converters* or *direct converters*. The second criterion for classification is with the commutation mode which may be external commutation or self-commutation.

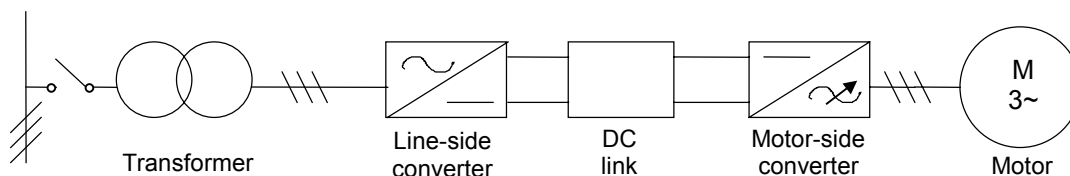
4.2 Converter configuration

4.2.1 Indirect converter

The power conversion from a fixed frequency and voltage a.c input to a variable frequency and voltage a.c. output is performed with an intermediate d.c. link, as in figure 3.

The d.c. link includes one or more filtering devices (series reactor, parallel capacitor or both).

In the case of an inductive d.c. link, the motor-side converter is named current source inverter (CSI). In the case of a capacitive d.c. link it is named voltage source inverter (VSI).



IEC 2077/02

Figure 3 – General structure of a drive system with an indirect converter

4.2.2 Convertisseur direct

La conversion de puissance d'une fréquence et tension alternative constante en entrée à une fréquence et tension alternative variable en sortie est assurée sans boucle intermédiaire à courant continu, comme indiqué à la figure 4.

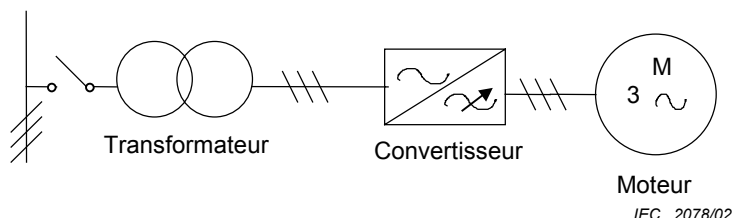


Figure 4 – Structure générale d'un entraînement avec convertisseur direct

Dans les deux figures, le transformateur comporte généralement un enroulement primaire triphasé et un ou plusieurs enroulements secondaires triphasés, en fonction de la nature du convertisseur raccordé. Ce dernier peut comprendre des modules multiples d'indice de pulsation 6, raccordés en série et/ou en parallèle, parfois en commandes successives, dans le but d'améliorer respectivement le résidu harmonique et le facteur de puissance.

4.2.3 Mode de commutation

4.2.3.1 Commutation assistée

La commutation assistée signifie que la commutation est due à une source externe au convertisseur. Ce type de commutation comprend la commutation assistée par le réseau et la commutation assistée par la charge. Dans le cas de convertisseurs indirects, avec un convertisseur moteur à commutation assistée par la charge, on dit qu'il s'agit d'un onduleur à commutation assistée par la charge (LCI).

4.2.3.2 Commutation autonome

La commutation autonome signifie que la commutation est assurée au moyen des composants qui se trouvent à l'intérieur du convertisseur.

4.3 Type de moteur

Les principaux types de moteurs comprennent les moteurs synchrones polyphasés et les moteurs à induction polyphasés. Les configurations les plus courantes dans les deux cas sont à enroulement stator triphasé ou à enroulement stator triphasé multiple. Les moteurs à induction peuvent être répartis en moteurs à induction à cage et en moteurs à induction à rotor bobiné.

La figure 5 montre un exemple de configuration à convertisseur multiple côté réseau, convertisseur moteur à modules, et avec un moteur comprenant deux bobinages stator séparés.

4.2.2 Direct converter

The power conversion from a fixed frequency and voltage a.c. input to a variable frequency and voltage a.c. output is performed without an intermediate d.c. link, as in figure 4.

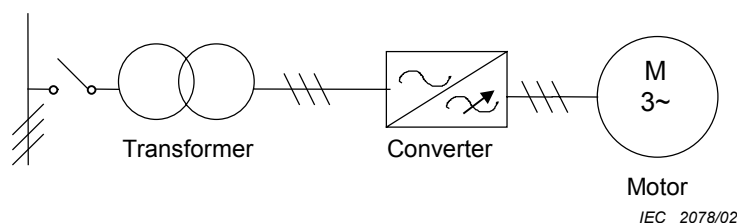


Figure 4 – General structure of a drive system with direct converter

The transformer in both figures usually presents one line-side three-phase winding and one or more secondary three-phase windings, depending on the nature of the connected converter. The latter may consist of multiple six-pulse converter modules, connected in series and/or parallel and sometimes with a sequential control, with the scope to improve the harmonic content and the power factor respectively.

4.2.3 Commutation mode

4.2.3.1 External commutation

External commutation means that commutation is due to a source outside the converter. This kind of commutation includes line commutation and load commutation. In case of indirect converters with a load commutated motor-side converter, this is named load commutated inverter (LCI).

4.2.3.2 Self- commutation

Self-commutation means that commutation is performed by means of components within the converter.

4.3 Motor type

The main motor types include polyphase *synchronous motors* and *induction motors*. The most common configurations of both types are three-phase or multiple three-phase stator winding systems. Induction motors may be subdivided into cage induction motors and wound rotor induction motors.

Figure 5 shows an example of a configuration with multiple line-side and motor-side converter modules and with a motor with two separate stator winding systems.

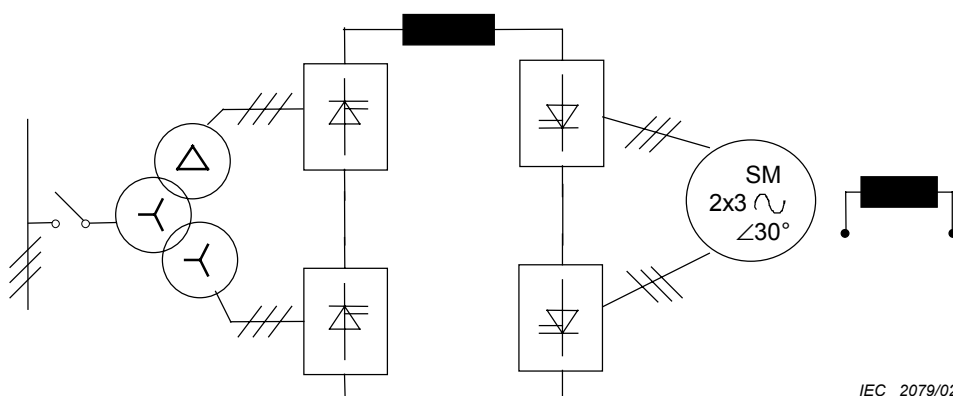


Figure 5 – Exemple de convertisseur à modules multiples et d'enroulements stator séparés

4.4 Couplage direct du moteur et configurations redondantes

Les entraînements peuvent comporter un couplage direct du moteur et/ou des configurations redondantes, afin de répondre à différents objectifs parmi lesquels:

- passage normal d'une source à fréquence variable à l'alimentation à la fréquence du réseau à la fin de la procédure de démarrage;
- commutation d'urgence de la source à fréquence variable à la source réseau à fréquence fixe en cas de défaut du convertisseur, afin de permettre un fonctionnement du système à vitesse constante;
- optimisation de la disponibilité et de la fiabilité du système, en prévoyant des voies de convertisseur multiple agissant en sous-systèmes séparables sélectivement – chacun d'eux permettant le fonctionnement du système en cas de défaillance partielle, parfois à puissance réduite – ainsi, chaque sous-système agit en voie de couplage à fréquence ajustable.

NOTE En cas de topologie avec couplage direct du moteur, il convient de prendre garde aux spécifications assignées du moteur relatives aux conditions de démarrage sans l'aide du convertisseur.

La figure 6 montre un exemple générique de couplage direct du moteur pour un entraînement avec convertisseur indirect: la voie de couplage direct peut comprendre un transformateur d'adaptation des niveaux de tension.

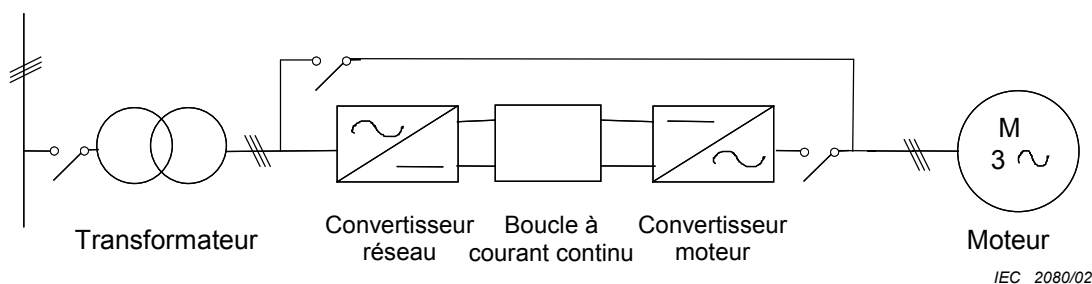
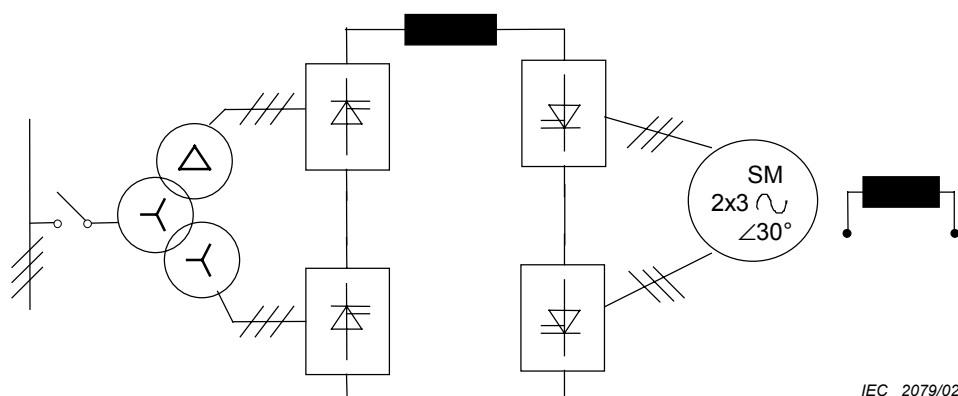


Figure 6 – Configuration générique de couplage direct du moteur pour un système à convertisseur indirect

La figure 7 donne un exemple d'une configuration redondante.



IEC 2079/02

Figure 5 – Example of multiple converter modules and separate stator winding systems motor

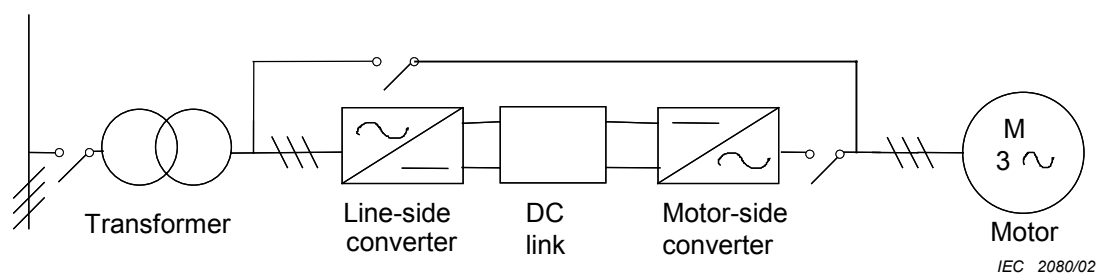
4.4 By-pass and redundant configurations

Drive systems may have by-pass and/or redundant configurations to satisfy different aims, among which are the following:

- normal changing from a variable frequency supply to a mains frequency supply at the end of the system starting procedure;
- emergency switching from a variable frequency supply to a mains frequency supply, in case of power converter failures, in such a way as to allow operation of the system at a fixed speed;
- maximum system availability and reliability, obtainable by including multiple power converter channels, acting as selectively separable subsystems – each of them allowing the operation of the system in case of partial failure, sometimes at reduced power, each drive subsystem acting therefore as an adjustable frequency bypass channel.

NOTE In the case of bypass topology, care should be taken regarding the motor rating for the starting conditions without the converter.

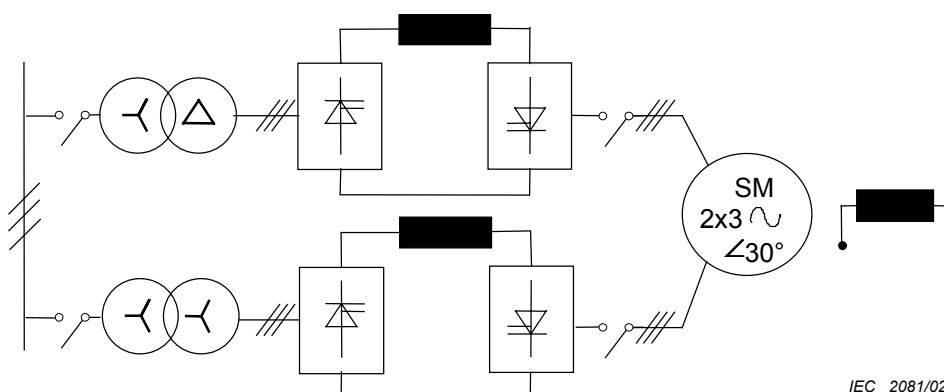
Figure 6 shows an example of a bypass configuration for a drive system with indirect conversion: the bypass channel may include a transformer for voltage level matching.



IEC 2080/02

Figure 6 – Bypass configuration for system with indirect converter

An example of a redundant configuration is given in figure 7.



IEC 2081/02

Figure 7 – Onduleur à commutation assistée par la charge (LCI) pour moteur synchrone en configuration partiellement redondante

4.5 Récupération et freinage dynamique

4.5.1 Freinage en récupération

Le couple et la vitesse peuvent, en général, avoir deux sens de telle sorte qu'il y a quatre quadrants de fonctionnement. Si le couple et la vitesse sont de même sens, alors l'énergie va du réseau vers le moteur. Dans le cas contraire, si le couple est opposé au sens de rotation, alors l'énergie va du moteur vers le réseau.

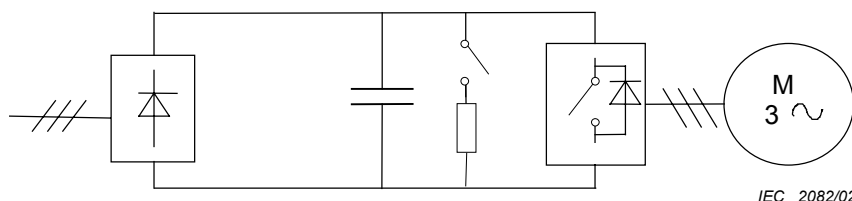
Lorsque l'énergie va du réseau vers le moteur on dit qu'il s'agit du fonctionnement moteur, alors que lorsque l'énergie va du moteur vers le réseau, on dit qu'il y a fonctionnement en récupération.

De nombreuses topologies illustrées en annexe A peuvent assurer le fonctionnement dans les quatre quadrants et donc le freinage en récupération.

4.5.2 Freinage dynamique

Dans le cas du freinage dynamique, l'énergie est dissipée dans une résistance.

A titre d'exemple, la figure 8 montre un entraînement à onduleur en source de tension (VSI) avec une résistance en parallèle sur la boucle à courant continu capacitive; lorsque le courant s'inverse dans la boucle, le hacheur fonctionne en contrôlant la tension du condensateur, permettant de dissiper l'énergie de freinage dans la résistance.



IEC 2082/02

Figure 8 – Exemple de freinage dynamique

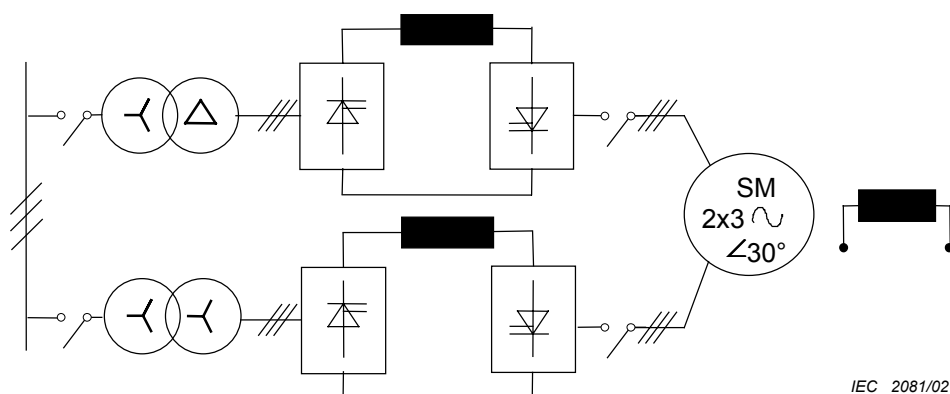


Figure 7 – LCI-synchronous motor in a partly redundant configuration

4.5 Regenerative and dynamic braking

4.5.1 Regenerative braking

Torque and speed can, in general, have two polarities, so that there are four quadrants of operation. If torque and speed have the same polarity, then power is flowing from the line to the motor. On the other hand, if the torque opposes the direction of rotation, then power is flowing from the motor to the line.

Power flow from the line to the motor is called “motoring operation”, while power flow from the motor to the line is called “regenerating operation”.

Many of the topologies illustrated in annex A are capable of four quadrant operation and therefore, regenerative braking.

4.5.2 Dynamic braking

In case of dynamic braking, energy is dissipated in a resistor.

As an example, figure 8 shows a VSI-inverter drive with a resistor in parallel to the d.c. link capacitor; when current reversal occurs, the chopper operates in such a way as to control the capacitor voltage, allowing the braking energy to be dissipated in the resistor.

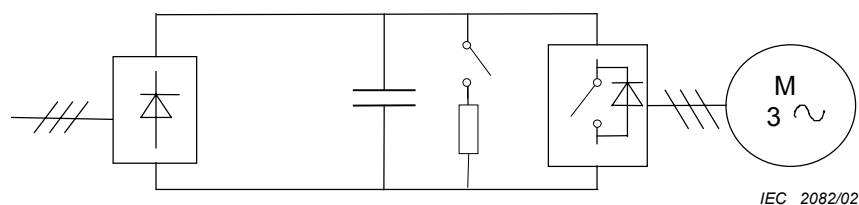


Figure 8 – Example of dynamic braking

5 Conditions de service

5.1 Installation et fonctionnement

5.1.1 Conditions électriques de service

5.1.1.1 Conditions de service normales

Sauf spécification contraire, l'entraînement doit être défini pour fonctionner dans les conditions électriques de service spécifiées dans le tableau 2. On peut trouver en 5.2 de la CEI 61800-3 les critères de qualification EMC correspondant pour la même structure.

Tableau 2 – Conditions de service pour l'alimentation aux bornes de l'entraînement (principales et auxiliaires)

Phénomène	Niveau	Document de référence
Variations de fréquence	$f_{LN} \pm 2 \%$ $f_{LN} \pm 4 \%$ (pour réseaux séparés)	CEI 61800-3
Rapidité de changement de la fréquence	$\leq 2 \% f_{LN}/s$	CEI 61800-3
Variations de tension	$\pm 10 \%$ $+10 \%, -15 \% \leq 1 \text{ min}$ (voir note 1)	CEI 61800-3
Fluctuations de tension	amplitude maximale de l'échelon: – 12 % dans la bande de tolérance – intervalle minimum entre deux échelons: 2 s – temps de montée: ≥ 5 périodes du réseau de l'alimentation	CEI 61800-3
Creux de tension	10 – 50 % $t \leq 100 \text{ ms}$ 10 – 100 % $t \leq 5 \text{ s}$ (voir note 2)	CEI 61800-3
Déséquilibre de tension	Alimentation principale: 2 % (composante homopolaire et composante inverse) alimentation auxiliaire: 3 % (composante homopolaire et composante inverse)	CEI 61800-3
Harmoniques de tension: régime permanent régime transitoire	$THD \leq 10 \%$ régime permanent $THD \leq 15 \% t \leq 15 \text{ s}$ (voir note 3)	CEI 61800-3
Interharmoniques de tension: régime permanent régime transitoire	$IDR \leq 0,5 \%$ $IDR \leq 0,75 \% t \leq 15 \text{ s}$	CEI 61000-2-4 Annexe A
Encoches de commutation	Profondeur: 40 % U_{LWM} Alimentation principale, surface: 125 % × degrés Alimentation auxiliaire, surface: 250 % × degrés	CEI 61800-3

NOTE 1 Le fonctionnement au régime assigné à des tensions inférieures à 100 % de la tension assignée doit faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

NOTE 2 En référence aux critères de performance du tableau 1 de la CEI 61800-3, sur l'accès de puissance principal, on associe les critères de performance B ou C aux creux de tension les plus faibles, et le critère C aux creux les plus forts. Sur l'accès de puissance auxiliaire, on associe les critères de performance A ou B aux creux de tension les plus faibles, et le critère B aux creux les plus forts.

NOTE 3 Ces valeurs correspondent aux conditions de service alors que le PDS fonctionne.

5 Service conditions

5.1 Installation and operation

5.1.1 Electrical service conditions

5.1.1.1 Normal service conditions

Unless otherwise specified, the PDS shall be designed to operate under the electrical service conditions specified in table 2 below. The corresponding EMC acceptance criteria in the same structure can be found in 5.2 of IEC 61800-3.

**Table 2 – Service conditions for the voltage supply at the PDS terminals
(main and auxiliary)**

Phenomenon	Level	Reference document
Frequency variations	$f_{LN} \pm 2 \%$ $f_{LN} \pm 4 \%$ (for separated supply networks)	IEC 61800-3
Frequency rate of change	$\leq 2 \%$ f_{LN}/s	IEC 61800-3
Voltage variations	$\pm 10 \%$ $+10 \%$, -15% ≤ 1 min (see note 1)	IEC 61800-3
Voltage fluctuations	maximum step amplitude: – 12 % within the tolerance band – minimum interval between steps: 2 s – rise time: ≥ 5 periods of the supply	IEC 61800-3
Voltage dips	10 – 50 % $t \leq 100$ ms 10 – 100 % $t \leq 5$ s (see note 2)	IEC 61800-3
Voltage unbalance	main supply: 2 % (zero sequence and negative sequence components) auxiliary supply: 3 % (zero sequence and negative sequence components)	IEC 61800-3
Voltage harmonics: steady state transient	$THD \leq 10 \%$ steady state $THD \leq 15 \%$ $t \leq 15$ s (see note 3)	IEC 61800-3
Voltage interharmonics: steady state transient	$IDR \leq 0,5 \%$ $IDR \leq 0,75 \%$ $t \leq 15$ s	IEC 61000-2-4 Annex A
Commutation notches	depth: 40 % U_{LWM} main supply, area: 125 % $\times$ degrees auxiliary supply, area: 250 % $\times$ degrees	IEC 61800-3
NOTE 1 Rated operation at voltages below 100 % of rated voltage shall be subject to agreement between the customer and the system supplier. NOTE 2 In reference to performance criteria, as defined in table 1 of IEC 61800-3, for the main power port, the smaller dips of this table are associated with performance criterion B or C and the largest with criterion C. For the auxiliary power ports, the smaller dips are associated with performance criterion A or B and the largest with criterion B. NOTE 3 These figures represent the service conditions when the PDS is in operation.		

5.1.1.2 Impédance de source

Les dispositifs de protection de l'entraînement, en particulier ceux en tête d'alimentation (voir 9.3), doivent être définis pour assurer un fonctionnement correct dans une plage donnée de rapports de courant de court-circuit (R_{SI}).

La valeur minimale du rapport de court-circuit R_{SI} , pour une conception standard d'entraînement, permettant d'obtenir les performances assignées, doit être de 20 définie au point de couplage (PC).

La valeur maximale du rapport de court-circuit R_{SI} , pour une conception standard d'entraînement, permettant de satisfaire aux conditions de protection, doit être de 100 définie au point de couplage (PC).

La plage effective de R_{SI} pour obtenir un bon fonctionnement doit être indiquée si les limites sont soit inférieures à 20 soit supérieures à 100, dans le cas d'une conception adaptée.

5.1.1.3 Transitoires répétitifs et non répétitifs

La forme d'onde typique d'une tension alternative contient des transitoires répétitifs et non répétitifs. Les transitoires ont pour origine les commutations de convertisseurs, les commutations d'appareillage sur le réseau et les perturbations sur le réseau.

L'entraînement doit être conçu pour fonctionner dans un environnement comportant des transitoires non répétitifs ayant pour origine la mise sous tension ou hors tension du transformateur de l'entraînement (voir 9.2.1) ou d'autres transformateurs alimentant le point de couplage (PC).

NOTE Il convient que des surtensions non usuelles qui pourraient survenir au PC soient spécifiées par l'acheteur. Par exemple, une spécification d'utilisateur pour un réseau 6 kV indique:

- cas d'une commutation distante: surtension transitoire 15 kV, 250/2 500 μ s;
- cas d'une commutation proche: surtension transitoire 12,3 kV, 50/400 μ s.

5.1.1.4 Conditions électriques de service inhabituelles

Les conditions de service inhabituelles doivent faire l'objet d'un accord spécial entre l'acheteur et le fournisseur du système.

5.1.2 Conditions de service d'environnement

5.1.2.1 Conditions climatiques

L'entraînement (avec des exceptions possibles pour le transformateur de puissance et le moteur lorsqu'ils sont installés dans des endroits différents) doit fonctionner dans les conditions d'environnement spécifiées dans la CEI 60721-3-3 classe 3K3, et à la section 2 de la CEI 60146-1-1 pour le fluide de refroidissement. Ce qui correspond à:

a) plage de température du fluide de refroidissement

air	0 °C à +40 °C
eau interne	+5 °C à +30 °C

b) température ambiante

+5 °C à +40 °C	
+30 °C	moyenne quotidienne, air
+25 °C	moyenne annuelle, air;

5.1.1.2 Source impedance

Protective devices of the PDS, particularly the line feeder protection (see 9.3), shall be designed to operate properly within a range of specified short-circuit current ratios (R_{SI}).

The minimum R_{SI} ratio for a standard design PDS to meet rated performance shall be 20, determined at the point of coupling (PC).

The maximum R_{SI} ratio for a standard design PDS to meet protection conditions shall be 100, determined at the point of coupling (PC).

In the case of a custom design, the actual range of R_{SI} shall be specified if less than 20 or higher than 100.

5.1.1.3 Repetitive and non-repetitive transients

A typical a.c. voltage waveform contains repetitive and non-repetitive transients. The transients are caused by converter commutation, switching of switchgears on the network, and disturbances on the power system.

The PDS shall be designed to operate in an environment with non-repetitive transients caused by switching the transformer of the PDS (see 9.2.1) or other transformer supplying the point of coupling (PC).

NOTE If unusually high overvoltages may occur at the PC, this should be specified by the customer. For example, a customer specification for a 6 kV supply states:

- in the case of remote switching: 15 kV voltage surge, 250/2 500 μ s;
- in the case of nearby switching: 12,3 kV voltage surge, 50/400 μ s.

5.1.1.4 Unusual electrical service conditions

The unusual service conditions shall be subject to a special agreement between the customer and the system supplier.

5.1.2 Environmental service conditions

5.1.2.1 Climatic conditions

The PDS (with the possible exceptions of the power transformer and motor when installed at different locations) shall operate under the environmental conditions specified in IEC 60721-3-3 for class 3K3, and section 2 of IEC 60146-1-1 for the cooling medium. This includes the following:

a) temperature range of the cooling medium

air	0 °C to +40 °C
inlet water	+5 °C to +30 °C

b) ambient temperature range

+5 °C to +40 °C	
+30 °C	daily average, air
+25 °C	yearly average, air;

c) humidité relative

5 % à 85 % sans condensation;

d) altitude

1 000 m maximum, au-dessus du niveau de la mer;

e) poussières et particules solides

un équipement de conception standard est prévu pour de l'air propre, degré de pollution 2, toute autre condition relève de conditions de service inhabituelles et exige une spécification de l'acheteur (voir la CEI 60529 pour le degré de protection des enveloppes);

f) période d'arrêt prolongé

il est souhaitable que l'utilisateur indique si de telles périodes sont prévisibles, même si les conditions ambiantes appartiennent au domaine défini ci-dessus.

5.1.2.2 Conditions mécaniques d'installation

L'entraînement (avec une exception possible pour le transformateur de puissance et pour le moteur, lorsqu'ils sont installés à des endroits différents) doit être monté à l'intérieur, sur une surface rigide ou dans une enveloppe additionnelle sans gêner sérieusement le dispositif de refroidissement ou de ventilation. L'installation d'une climatisation peut être envisagée afin d'améliorer la fiabilité.

D'autres conditions d'installation demandent à être examinées spécialement et doivent faire l'objet d'une spécification et d'une consultation du fabricant.

Les vibrations doivent rester dans les limites des valeurs de la CEI 60721-3-3, classe 3M1, considérée comme définissant les conditions normales d'un équipement fixe. Des vibrations au-delà de ces limites, ou l'utilisation sur un équipement mobile, sont considérées comme des conditions de service inhabituelles.

Tableau 3 – Limites de vibration de l'installation

Fréquence Hz	Amplitude mm	Accélération m/s ²
$2 \leq f < 9$	0,3	Sans objet
$9 \leq f < 200$	Sans objet	1

Le transformateur principal (s'il existe) et le moteur doivent satisfaire aux exigences de leur norme de produit correspondante (respectivement la CEI 60076 ou la CEI 60726 et la CEI 60034).

5.1.2.3 Conditions inhabituelles d'environnement de service

L'utilisation du convertisseur de puissance, du système de commande associé et de l'entraînement, dans des conditions s'écartant des conditions habituelles définies par la CEI 60146-1-1, doit être considérée comme anormale. Ces conditions anormales de service doivent être précisées par l'acheteur.

Il est souhaitable de coordonner entre l'acheteur et le fournisseur de l'équipement les conditions de fonctionnement qui ne sont pas spécifiées en tant que conditions d'environnement habituelles en 5.1.2. Les conditions ci-dessous sont des conditions de service inhabituelles pour le convertisseur:

a) exposition à des gaz corrosifs;

b) exposition à une humidité excessive (humidité relative supérieure à 85 %) et changement rapide du taux d'humidité relative (dépassant 0,005 p.u./h);

- c) relative humidity
5 % to 85 % without condensation;
- d) altitude
1 000 m maximum above sea level;
- e) dust and solid particle content
equipment of standard design is designed for clean air, pollution degree 2, any other condition constitutes “unusual service conditions” and requires specification by the customer (see IEC 60529 for degrees of protection for enclosures);
- f) extended shut down periods
the customer should indicate, if such periods are foreseen, even if the ambient conditions are in the range defined above.

5.1.2.2 Mechanical installation conditions

The PDS, (with the possible exceptions of the power transformer and motor, when installed at different locations) shall be installed indoors on a rigid mounting surface or in a supplementary enclosure, which do not seriously interfere with the ventilation or cooling system. An air-conditioner may be furnished to enhance the reliability.

Other installation circumstances require special consideration and require specification and consultation with the converter manufacturer.

Vibration shall remain within the limits of IEC 60721-3-3, class 3M1, which is considered normal for stationary equipment. Vibration beyond these limits or use on non-stationary equipment are considered unusual mechanical conditions.

Table 3 – Installation vibration limits

Frequency Hz	Amplitude mm	Acceleration m/s ²
$2 \leq f < 9$	0,3	not applicable
$9 \leq f < 200$	not applicable	1

The main transformer (if any) and the motor shall comply with their applicable product standards (IEC 60076 or IEC 60726 and IEC 60034, respectively).

5.1.2.3 Unusual environmental service conditions

The use of power converter equipment, associated drive control, and drive equipment under conditions different from the usual conditions listed in IEC 60146-1-1 shall be considered unusual. The customer shall specify these unusual service conditions.

Operating conditions not specified as usual environmental conditions in 5.1.2 should be coordinated between the customer and the supplier of the equipment.

Identified unusual service conditions for the converter are the following:

- a) exposure to damaging fumes;
- b) exposure to excessive moisture (relative humidity greater than 85 %) and relative humidity changes (exceeding 0,005 p.u./h);

- c) exposition à un niveau d'empoussièrement excessif;
- d) exposition à de la poussière abrasive;
- e) exposition à de la vapeur ou à de la condensation d'eau;
- f) exposition à de la vapeur ou à de la condensation d'huile;
- g) exposition à des mélanges explosifs de poussières ou de gaz;
- h) exposition à l'air salin;
- i) exposition à des vibrations anormales, à des chocs ou secousses;
- j) exposition aux intempéries ou aux égouttements d'eau;
- k) exposition à des conditions de magasinage ou de transport inhabituelles;
- l) exposition à des changements soudains ou brutaux de température (dépassant 5 K/h);
- m) eau de refroidissement contenant des acides ou des impuretés, pouvant être la cause d'un encrassement excessif, de dépôt de tartre de boues, d'électrolyse ou de corrosion ou d'obstruction, de l'eau de mer ou de l'eau brute;
- n) radiations nucléaires anormalement élevées;
- o) altitude supérieure à 1 000 m;
- p) équipement extérieur.

Se référer aux normes de produit applicables (respectivement la CEI 60076 ou la CEI 60726 et la CEI 60034) pour la définition des conditions de service inhabituelles du transformateur principal, s'il existe, et du moteur.

5.1.3 Mise en service

Sauf accord contraire, les conditions normales de service et les conditions inhabituelles de service s'appliquent de la même manière à la mise en service et à l'utilisation.

5.2 Transport

5.2.1 Conditions climatiques

5.2.1.1 Généralités

Le transport de l'équipement dans l'emballage standard du fournisseur doit être possible dans les conditions d'environnement spécifiées par la classe 2K3 de la CEI 60721-3-2.

5.2.1.2 Température ambiante

–25 °C à +55 °C

et –25 °C à +70 °C pour des durées n'excédant pas 24 h.

NOTE 1 Les limites de température sont relatives à la température ambiante dans le voisinage immédiat de l'équipement (par exemple à l'intérieur d'un conteneur).

NOTE 2 Ces limites s'appliquent lorsque le liquide de refroidissement est retiré.

NOTE 3 On peut utiliser des limites moins sévères pour la température haute à condition de la signaler.

5.2.1.3 Humidité relative

Moins de 95 % à +40 °C

NOTE Certaines combinaisons de température et d'humidité peuvent être la cause de condensation.

- c) exposure to excessive dust;
- d) exposure to abrasive dust;
- e) exposure to steam or water condensation;
- f) exposure to steam or oil vapor;
- g) exposure to explosive mixtures of dust or gases;
- h) exposure to salt air;
- i) exposure to abnormal vibration, shock or tilting;
- j) exposure to weather or dripping water;
- k) exposure to unusual transportation or storage conditions;
- l) exposure to extreme or sudden changes in temperature (exceeding 5 K/h);
- m) cooling water containing acid or impurities which cause excessive scale, sludge, electrolysis or corrosion or obstruction, sea and hard water;
- n) unusually high nuclear radiation;
- o) altitude above 1 000 m;
- p) outdoor equipment.

For unusual service conditions of the main transformer (if any) and motor, refer to the applicable product standards (IEC 60076 or IEC 60726 and IEC 60034, respectively).

5.1.3 Commissioning

Unless otherwise agreed upon, commissioning has the same normal and unusual service conditions as operation.

5.2 Transportation

5.2.1 Climatic conditions

5.2.1.1 General

Equipment shall be capable of transportation in the supplier's package, under environmental conditions, as specified in class 2K3 of IEC 60721-3-2.

5.2.1.2 Ambient temperature

–25 °C to +55 °C

–25 °C to +70 °C up to 24 h.

NOTE 1 Temperature limits refer to the ambient temperature immediately surrounding the equipment (for example, inside a container).

NOTE 2 These limits apply with cooling liquid removed.

NOTE 3 Lower limits for the highest temperature are possible, provided a warning is given.

5.2.1.3 Relative humidity

Less than 95 % at +40 °C

NOTE Some combinations of temperature and humidity may cause condensation.

5.2.1.4 Pression atmosphérique

Plage de 86 kPa à 106 kPa

Le transformateur principal (s'il existe) et le moteur doivent satisfaire aux exigences de leur norme de produit correspondante (respectivement la CEI 60076 ou la CEI 60726 et la CEI 60034).

5.2.1.5 Conditions climatiques inhabituelles

Température inférieure à $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Lorsqu'on peut prévoir des températures inférieures à $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ on doit employer un transport avec réchauffage ou retirer les composants sensibles à ces basses températures.

5.2 Conditions mécaniques

5.2.2.1 Généralités

Le transport de l'équipement dans l'emballage standard du fournisseur doit être possible dans les conditions spécifiées par la CEI 60721-3-2, classe 2M1. Cela inclut les vibrations et les chocs selon les conditions ci-dessous.

5.2.2.2 Limites de vibration

Les limites sont données au tableau 4.

**Tableau 4 – Limites de vibration au cours du transport
(voir classe 2M1 de la CEI 60721-3-2)**

Fréquence Hz	Amplitude mm	Accélération m/s^2
$2 \leq f < 9$	3,5	Sans objet
$9 \leq f < 200$	Sans objet	10
$200 \leq f < 500$	Sans objet	15

5.2.2.3 Limites de chocs

Les limites correspondent à une chute libre sur 0,1 m.

NOTE 1 Si des chocs ou des vibrations sont prévus au-delà de ces limites, des conditions spéciales d'emballage ou de transport sont nécessaires.

NOTE 2 Si on a identifié des conditions d'environnement moins sévères, l'emballage peut tenir compte de ces contraintes réduites après accord entre le constructeur/ fournisseur, l'utilisateur et le transporteur.

NOTE 3 Le transformateur principal, s'il existe, et le moteur doivent être conformes à leur norme de produit correspondante (respectivement la CEI 60076 ou la CEI 60726 et la CEI 60034).

5.3 Magasinage de l'équipement

5.3.1 Généralités

Dès réception, l'équipement doit être placé sous un abri adéquat, si le conditionnement de transport n'est généralement pas prévu pour un stockage extérieur ou non protégé.

5.2.1.4 Atmospheric pressure

Range 86 kPa to 106 kPa

The main transformer (if any) and the motor shall comply with their applicable product standards. (IEC 60076 or IEC 60726 and IEC 60034, respectively).

5.2.1.5 Unusual climatic conditions

Temperatures below -25°C .

Where transportation temperatures below -25°C are anticipated, the use of heated transport or the removal of selected low temperature sensitive components is required.

5.2.2 Mechanical conditions

5.2.2.1 General

Equipment shall be capable of transportation, in the supplier's package, within the limits prescribed in class 2M1 of IEC 60721-3-2. This includes the following requirements as far as vibration and shock are concerned.

5.2.2.2 Vibration limits

Limits are given in table 4.

Table 4 – Transportation vibration limits (see class 2M1 IEC 60721-3-2)

Frequency Hz	Amplitude mm	Acceleration m/s^2
$2 \leq f < 9$	3,5	Not applicable
$9 \leq f < 200$	Not applicable	10
$200 \leq f < 500$	Not applicable	15

5.2.2.3 Shock limits

The limits are those corresponding to a free fall height of 0,1 m.

NOTE 1 If a shock and vibration environment beyond those limits is anticipated, special packaging or transport are required.

NOTE 2 If a less damaging environment is known to exist, packaging may reflect reduced requirements by agreement between component manufacturers/system supplier, customer and carrier.

NOTE 3 The main transformer (if any) and the motor shall comply with their applicable product standards. (IEC 60076 or IEC 60726 and IEC 60034, respectively).

5.3 Storage of equipment

5.3.1 General

The equipment shall be placed under adequate cover immediately upon receipt if packing coverings are not suitable for outdoor or unprotected storage.

5.3.2 Conditions climatiques

Les équipements doivent pouvoir être magasinés dans les conditions d'environnement spécifiées par la CEI 60721-3-1. Ce qui inclut les exigences suivantes.

a) Température ambiante, classe 1K4:

–25 °C à +55 °C

b) Humidité relative, classe 1K3:

5 % à 95 %

c) Pression atmosphérique:

86 kPa à 106 kPa

Ces limites s'appliquent avec le liquide de refroidissement retiré.

Les conditions et la durée de magasinage doivent être définies et faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur du système.

La norme de produit correspondante pour le convertisseur, le transformateur et le moteur (respectivement la CEI 60146, la CEI 60076 ou la CEI 60726 et la CEI 60034) prévaut.

5.3.3 Risques particuliers de magasinage

Les risques suivants requièrent une attention particulière:

- a) **eau** – à l'exception des équipements spécifiquement conçus pour une utilisation extérieure, l'équipement doit être protégé de la pluie, de la neige, du givre, etc.;
- b) **condensation** – il est souhaitable d'éviter des changements rapides de température et d'humidité;
- c) **agents corrosifs** – l'équipement doit être protégé des projections d'embruns salés, des émanations de gaz dangereux, ou des liquides corrosifs, etc.;
- d) **durée** – les spécifications des articles ci-dessus ne s'appliquent qu'à des durées totales de transport et de magasinage inférieures à six mois. Des durées supérieures peuvent nécessiter un traitement spécial (gamme réduite de température ambiante comme dans la classe 1K3 de la CEI 60721-3-1);
- e) **rongeurs et moisissures** – lorsque les conditions de magasinage peuvent conduire à des agressions par des rongeurs ou par des moisissures, les spécifications de l'équipement doivent inclure les protections appropriées:

rongeurs – les matériaux extérieurs, la taille des ouvertures de refroidissement, les connexions, etc., doivent être spécifiées pour éloigner l'attaque et l'intrusion;

moisissures – les matériaux doivent être spécifiés avec un pouvoir fongicide suffisant pour les conditions de magasinage et de fonctionnement.

6 Caractéristiques assignées

6.1 Entraînement de puissance (PDS)

6.1.1 Généralités

Les spécifications des composants de puissance principaux de l'entraînement sont de la responsabilité du fournisseur du système (voir article 8).

5.3.2 Climatic conditions

Equipment shall be capable of storage under environmental conditions as specified in IEC 60721-3-1. This includes the following requirements.

- a) Ambient temperature class 1K4:
–25 °C to +55 °C
- b) Relative humidity class 1K3:
5 % to 95 %
- c) Atmospheric pressure:
86 kPa to 106 kPa

These limits apply with cooling liquid removed.

Storage conditions and duration shall be defined and agreed upon between customer and system supplier.

For the converter, the transformer and the motor, the applicable product standards (IEC 60146, IEC 60076 or IEC 60726 and IEC 60034, respectively) take precedence.

5.3.3 Specific storage hazards

The following require particular attention:

- a) **water** – except for equipment specifically designed for outdoor installation: equipment shall be protected from rain, snow, sleet, etc.;
- b) **condensation** – sudden changes in temperature and humidity should be avoided;
- c) **corrosive materials** – equipment shall be protected from salt spray, hazardous gases, corrosive liquids, etc.;
- d) **time** – the above specifications apply to shipping and storage with a total duration of up to six months; longer storage times may require special consideration (i.e. reduced ambient temperature range such as in class 1K3 of IEC 60721-3-1);
- e) **rodents and fungi** – when storage conditions are likely to involve rodent or fungus attack, equipment specifications shall include protective items:
 - rodents – materials on the outside of the equipment and the size of apertures for cooling, connection, etc. shall be specified such as to discourage rodent attack or entry;
 - fungi – materials shall be specified for a degree of fungus resistance suitable for the storage and operating environments.

6 Ratings

6.1 Power drive system (PDS)

6.1.1 General

The main power components specifications of the PDS are within the responsibility of the system supplier (see clause 8).

6.1.2 Caractéristiques assignées en entrée de l'entraînement

6.1.2.1 Tension et fréquences d'entrée

Les caractéristiques assignées de la fréquence et de la tension d'entrée de l'entraînement doivent être données par l'acheteur.

Les valeurs normalisées sont spécifiées dans la CEI 60038: 3 kV, 3,3 kV, 4,16 kV, 6 kV, 6,6 kV, 10 kV, 11 kV, 12,47 kV, 13,2 kV, 13,8 kV, (15 kV), 20 kV, 22 kV, 24,94 kV, 33 kV, 34,5 kV. Des valeurs différentes non normalisées de tension peuvent être définies dans le but d'optimiser le système ou dans des cas spéciaux.

6.1.2.2 Courants d'entrée

Le fournisseur du système doit indiquer plusieurs courants d'entrée sous les conditions de tension assignée et de charge assignée de l'entraînement:

- la valeur efficace du courant total de l'entraînement – I_{LN} , qui peut comprendre le courant I_{XLN} nécessaire aux auxiliaires s'ils sont alimentés à partir de la même source, au même niveau de tension de l'entraînement;
- le spectre du courant harmonique de l'entraînement y compris le fondamental – I_{LNh} , h va jusqu'au rang 25 ou 40;
- courant nécessaire aux auxiliaires, harmoniques inclus, si nécessaire, pour chaque source – I_{XNj} .

Ces valeurs doivent être établies par le fournisseur du système avec la valeur minimale spécifiée de l'impédance de réseau (transformateur de l'entraînement inclus), et pour un réseau sans distorsion de tension.

6.1.3 Caractéristiques assignées de sortie de l'entraînement

6.1.3.1 Gamme de vitesse de fonctionnement

La gamme de vitesse de fonctionnement doit être définie en utilisant les paramètres suivants:

- N_{min} = vitesse de fonctionnement minimale
- N_o = vitesse de base
- N_M = vitesse de fonctionnement maximale.

L'examen des vitesses critiques (voir 9.4.1) nécessite une coordination entre le fournisseur du système et celui des matériels entraînés.

6.1.3.2 Valeurs assignées du couple et de la puissance

Il est souhaitable que la caractéristique de sortie permanente, ainsi que la capacité de surcharge de l'entraînement, soient indiquées en termes de valeur permanente du couple et de valeur de surcharge du couple, ou de puissance disponible sur l'arbre moteur aux vitesses définies ci-dessus.

L'examen des pulsations de couple (voir 9.4) nécessite une coordination entre le fournisseur du système et celui des matériels entraînés.

6.1.3.3 Quadrants de fonctionnement

Les caractéristiques assignées ci-dessus doivent être fournies pour chacun des quadrants selon l'accord entre le fournisseur du système et l'acheteur.

6.1.2 PDS input ratings

6.1.2.1 Input voltages and frequencies

The PDS input voltage and frequency rating shall be stated by the customer.

Standard values are as follows according to IEC 60038: 3 kV, 3,3 kV, 4,16 kV, 6 kV, 6,6 kV, 10 kV, 11 kV, 12,47 kV, 13,2 kV, 13,8 kV, (15 kV), 20 kV, 22 kV, 24,94 kV, 33 kV, 34,5 kV. Different, non-standard voltage values may be specified for system optimization or special circumstances.

6.1.2.2 Input currents

There are several input currents that shall be provided by the system supplier at rated line voltage and rated PDS load:

- the total r.m.s. current of the PDS – I_{LN} , it may include the current I_{XLN} required by auxiliaries if supplied on the same line, at the same voltage level as the PDS;
- the harmonic current spectrum of the PDS including the fundamental – I_{LNh} , h is up to 25 or 40;
- the currents required by auxiliaries including harmonics, if relevant, for each source – I_{XNj} .

These values shall be stated by the system supplier at the minimum specified a.c. line impedance (including the converter supply transformer), and with no background supply-voltage distortion.

6.1.3 PDS output ratings

6.1.3.1 Operating speed range

The operating speed range shall be defined using the following parameters:

- N_{min} = minimum operating speed
- N_o = base speed
- N_M = maximum operating speed.

Co-ordination is required between the system supplier and the driven equipment supplier regarding critical speeds (see 9.4.1).

6.1.3.2 Torque and power rating

Continuous output rating and possible overload capability of the PDS should be specified in terms of continuous and overload torque or power available at motor shaft at speeds defined above.

Co-ordination is required between the system supplier and the driven equipment supplier regarding torque pulsations (see 9.4).

6.1.3.3 Operating quadrants

The above ratings shall be given for all operating quadrants as agreed between system supplier and customer.

6.1.4 Rendement et pertes de l'entraînement

Les sous-systèmes de l'entraînement, pris en compte pour déterminer le rendement global, doivent être précisés. Les procédures de détermination sont à voir à l'article 11.

NOTE Toutes les pertes des auxiliaires (exemple: système de refroidissement, excitation, contrôle) font partie des pertes de l'entraînement, de la même manière que celles d'un moteur auto-ventilé.

Les pertes, ou le rendement de l'entraînement, doivent être définies par le fournisseur du système à la charge assignée et à la vitesse de base. Dans le cas où on donne des garanties, celles-ci doivent toujours être relatives aux valeurs assignées et aux conditions assignées. Dans ce cas, on doit appliquer les tolérances suivantes aux pertes:

- système complet 0 % +7 %
- convertisseur 0 % +10 %
- transformateur et moteur 0 % +10 % selon leur norme de produit
- autres composants standard selon leur norme de produit, si elle existe,
ou 0 % +10 % dans les autres cas.

On donne, à la figure 9, un exemple de la variation du rendement et des pertes en fonction de la vitesse.

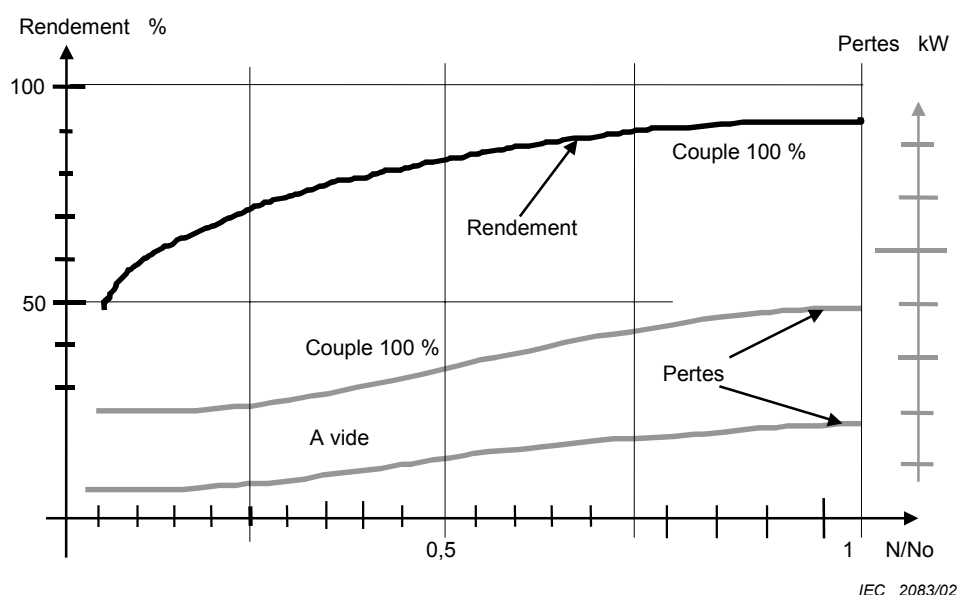


Figure 9 – Caractéristiques typiques du rendement et des pertes d'un entraînement en fonctionnement à flux constant

6.1.5 Capacité de surcharge de l'entraînement

En plus des caractéristiques assignées en régime permanent de charge (voir 6.1.2.2), le fournisseur du système peut indiquer des valeurs supplémentaires de courant assigné dans des conditions de surcharge spécifiées; par exemple le fournisseur du système peut définir différentes valeurs de courant assigné pour l'équipement convertisseur selon différents cas de types de charge. La capacité de surcharge s'applique à la plage de vitesse assignée.

La capacité de surcharge d'un entraînement peut être définie comme une charge intermittente ou comme un cycle de charge répétitif. On peut trouver dans la CEI 61136-1 une classification et des méthodes de calcul plus générales. Il est souhaitable que les conditions spéciales de surcharge fassent l'objet d'un accord entre l'acheteur, le fournisseur du système et les constructeurs des composants.

6.1.4 PDS efficiency and losses

The PDS subsystems included in the determination of the overall efficiency shall be stated. See clause 11 for the determination procedure.

NOTE All auxiliary losses (example: cooling system, excitation, control) are included in the PDS losses, as those of a self-ventilated motor.

The losses or efficiency of the PDS shall be specified by the system supplier at rated load and base speed. If guarantees are given, they shall always refer to rated values and rated conditions. In such a case, the following tolerances on power losses shall apply:

- total system 0 % +7 %
- converter 0 % +10 %
- transformer and motor 0 % +10 % according to their product standard
- other components according to their product standard if any,
- or 0 % +10 % in other cases.

An example of variation of efficiency and losses versus speed is given in figure 9.

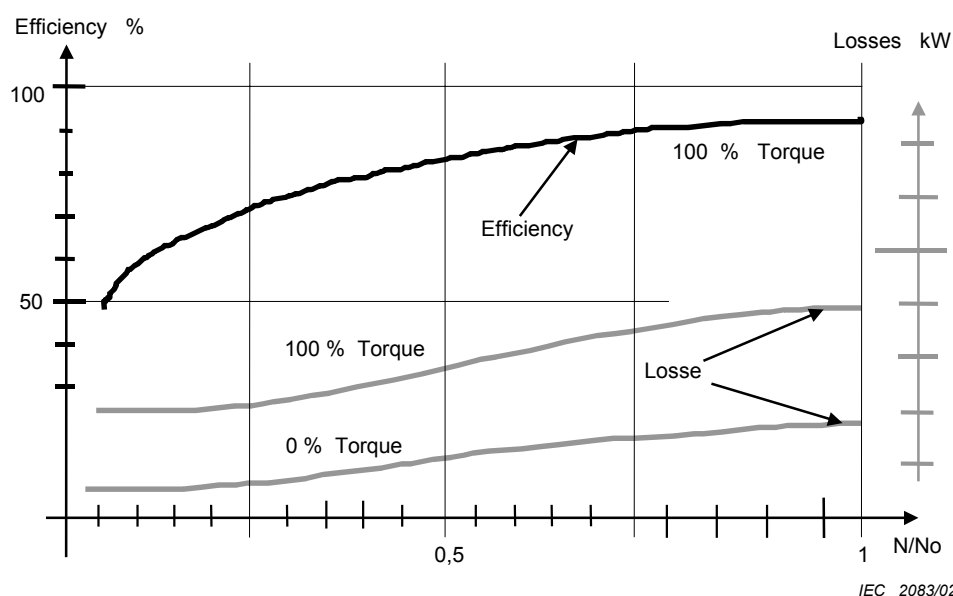


Figure 9 – Typical curves for efficiency and losses of a PDS at constant flux operation

6.1.5 PDS overload capability

Besides the rated value under continuous load conditions (see 6.1.2.2), the system supplier may assign additional values of the rated current, each under specified overload conditions, i.e. a converter equipment may be assigned by the system supplier different ratings for different types of load. The overload capability applies to the rated speed range.

The overload capability of the PDS can be specified as an intermittent load duty, or as repetitive load duty. A wider classification, as well as calculation methods can be found in IEC 61136-1. Special overload conditions should be agreed between the customer and the system supplier/component manufacturers.

Par exemple, le tableau 3 de la CEI 60146-1-1 fournit des valeurs typiques d'amplitude et de durée.

La valeur efficace du courant, comptée sur un cycle complet, ne doit pas dépasser le courant assigné, quel que soit le type du cycle de charge. Le tableau 5 et la figure 10 présentent, en exemple, trois cycles de charges usuels de 10 min avec surcharge de 1 min.

Tableau 5 – Exemple de réduction de la charge maximale permanente en fonction de la surcharge

Surcharge		Sous-charge (de compensation)	
Amplitude I_{aM} p.u. de la valeur assignée	Durée t_{aM} min	Amplitude I_{aR} p.u. de la valeur assignée	Durée ($t_s - t_{aM}$) min
1,5	1	0,928	9
1,25	1	0,968	9
1,1	1	0,988	9

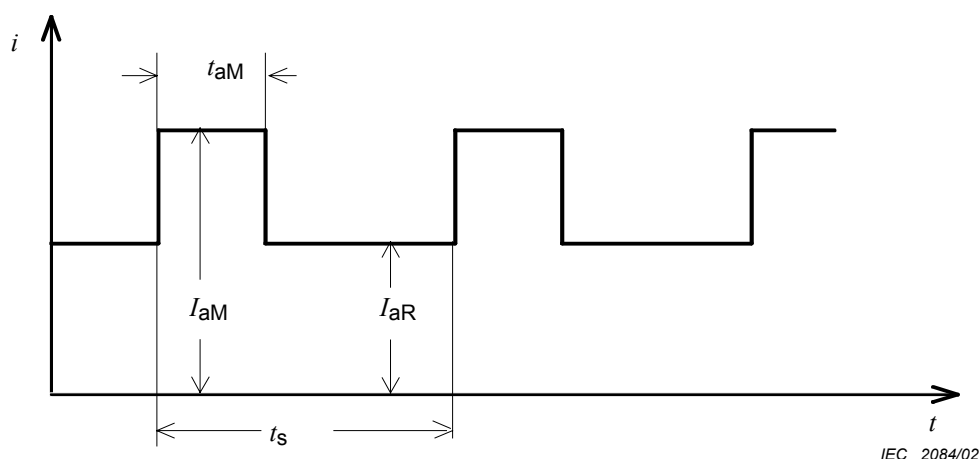


Figure 10 – Exemple de cycle de surcharge

Dans le cas d'un cycle de charge répétitive, la valeur minimale du courant fondamental assigné du convertisseur doit correspondre à la valeur efficace du courant moteur sur un cycle de charge complet, et la capacité de surcharge du convertisseur doit être adaptée au cycle de charge.

Dans le cas d'une charge permanente, la valeur minimale du courant fondamental assigné du convertisseur I_{aN1} doit correspondre au courant permanent du moteur nécessaire pour fournir le couple permanent spécifié. En cas de surcharges intermittentes, les surcharges ne doivent pas conduire le courant du convertisseur à dépasser les caractéristiques de surcharge.

6.2 Convertisseur

6.2.1 Valeurs assignées en entrée du convertisseur

Les valeurs assignées de tension et de fréquence du convertisseur doivent être définies par le constructeur du convertisseur. Les valeurs normalisées de la fréquence côté réseau sont 50 Hz ou 60 Hz.

Le courant d'entrée assigné doit être indiqué pour la valeur assignée de la tension réseau et la valeur assignée de la charge de l'entraînement:

- valeur efficace du courant assigné d'entrée du convertisseur – I_{VN}

For example, typical overload magnitudes and duration are given in table 3 of IEC 60146-1-1.

For any type of duty cycle, the r.m.s. value of the current over the complete cycle shall not exceed the rated current. Table 5 and figure 10 show three usual examples of a 1 min overload with a 10 min load cycle.

Table 5 – Example of reduced maximum continuous load as a function of an overload

Overload		Reduced continuous load	
Amplitude I_{aM} p.u. of rated	Duration t_{aM} min	Maximum amplitude of I_{aR} p.u. of rated	Duration ($t_s - t_{aM}$) min
1,5	1	0,928	9
1,25	1	0,968	9
1,1	1	0,988	9

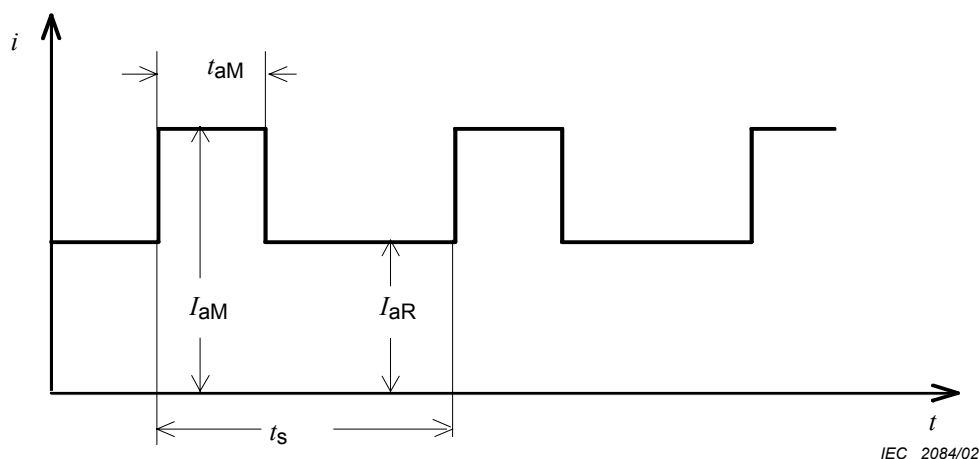


Figure 10 – Overload cycle example

For repetitive load duty, the rated fundamental converter current shall correspond, as a minimum, to the r.m.s. value of the motor current for a full period of the motor duty cycle and the overload capability of the converter shall be adequate for the load duty cycle.

For continuous duty, the rated fundamental converter current I_{aN1} shall correspond, as a minimum, to the continuous motor current necessary to supply the specified continuous motor torque. In the case of intermittent load duty, the overloads shall not cause the converter current to exceed its overload rating.

6.2 Converter

6.2.1 Converter input ratings

The converter manufacturer shall state the input voltage and frequency rating of the converter assembly. Standard values of the line frequency are 50 Hz or 60 Hz.

The input rated current shall be stated at rated line voltage and rated PDS load:

- the rated r.m.s. current of the converter input – I_{VN}

- le spectre du courant harmonique du convertisseur y compris le fondamental – I_{VNH} , h va jusqu'au rang 25 ou 40.

Ces valeurs doivent être établies par le fournisseur du système avec la valeur minimale spécifiée de l'impédance de réseau (transformateur de l'entraînement inclus).

Dans le cas où l'entraînement comprend un transformateur d'entrée, le régime de neutre (schéma de connexion à la terre) (du côté convertisseur du transformateur) doit être spécifié par le constructeur de l'entraînement (voir 9.3).

6.2.2 Valeurs assignées de sortie du convertisseur

La gamme de fréquence et de tension de fonctionnement pour la valeur spécifiée ou typique d'impédance de sortie (prenant en compte moteur et transformateur s'il existe) doit utiliser les paramètres suivants:

- U_{aN1} = tension de sortie assignée fondamentale (valeur efficace du fondamental)
- f_{min} = fréquence minimale de fonctionnement
- f_M = fréquence maximale de fonctionnement.

Le courant de sortie assigné doit être défini pour la tension de sortie assignée et la charge assignée de l'entraînement:

- valeur efficace totale du courant de sortie du convertisseur – I_{aN} ;
- spectre harmonique du courant de sortie du convertisseur y compris le fondamental – I_{aNh} , h va jusqu'au rang 25 ou 40, cette valeur doit être établie par le fournisseur du système à la valeur spécifiée ou à la valeur typique de l'impédance de sortie (prenant en compte le moteur et le transformateur s'il existe); si nécessaire, pour les besoins de l'intégration du système, se référer à l'article 9.

La tension de sortie assignée entre phases doit être définie pour le courant de sortie assigné et la charge assignée de l'entraînement:

- valeur efficace totale de la tension de sortie du convertisseur – U_{aN} ;
- spectre harmonique du courant de sortie du convertisseur y compris le fondamental – U_{aNh} , h va jusqu'au rang 25 ou 40; cette valeur doit être établie par le fournisseur du système à la valeur spécifiée ou à la valeur typique de l'impédance de sortie (prenant en compte le moteur et le transformateur s'il existe); si nécessaire pour les besoins de l'intégration du système, voir l'article 9;
- le temps de montée de la tension de sortie du convertisseur; si nécessaire pour les besoins de l'intégration du système, voir l'article 9.

6.2.3 Rendement et pertes

La définition du rendement de la conversion de puissance est donnée en 3.1.6.

Typiquement, le rendement est établi au moyen de calculs ou de mesures, ou de combinaisons des deux (voir article 11).

Les parties d'équipement prises en compte dans la détermination du rendement du convertisseur doivent être identifiées. Dans le cas du convertisseur seul, on doit faire référence aux listes respectivement données en 3.3.1 et 3.3.2 de la CEI 60146-1-1 pour identifier les composants ou appareils dont les pertes doivent être prises en compte. Les pertes dans la boucle à courant continu dues aux réactances continues et/ou aux condensateurs, dues aux fusibles s'il y en a, et dues aux jeux de barres, qui ne sont pas pris en compte en 3.3.1 de la CEI 60146-1-1 sont une part des pertes totales et doivent être comptabilisées. Dans le cas où un doute quelconque subsisterait, on doit indiquer si les pertes de tel ou tel composant, sont incluses ou non dans le rendement annoncé.

- the harmonic current spectrum of the converter input including the fundamental – I_{VNh} , h is up to 25 or 40.

These values shall be stated at the minimum specified a.c. line impedance (including transformer).

In the case where the PDS includes an input transformer, the manufacturer of the PDS shall specify the earthing status of the neutral (on the converter side of the transformer) (see 9.3).

6.2.2 Converter output ratings

The operating frequency and voltage range at the specified or typical output impedance (including motor and transformer if any) shall use the following parameters:

- U_{aN1} = rated fundamental output voltage
- $f_{\min}$ = minimum operating frequency
- f_M = maximum operating frequency.

The rated output current shall be stated at the rated output voltage and rated PDS load:

- the total r.m.s. current of the converter output – I_{aN} ;
- the harmonic current spectrum of the converter output, including the fundamental – I_{aNh} , h is up to 25 or 40, this value shall be stated by the system supplier at the specified or typical output impedance (including motor and transformer if any), where needed, for system integration, see clause 9.

The rated output line-to-line voltage shall be stated at rated output current and rated PDS load:

- the total r.m.s. voltage of the converter output – U_{aN} ;
- the harmonic voltage spectrum of the converter output, including the fundamental – U_{aNh} , h is up to 25 or 40, this value shall be stated by the system supplier at the specified or typical output impedance (including motor and transformer, if any) where needed for system integration, see clause 9;
- the rise-time of the converter output voltage, where needed for system integration, see clause 9.

6.2.3 Efficiency and losses

The definition of power conversion efficiency is given in 3.1.6.

Typically, efficiency is established by means of calculations or measurements or combinations of both (see clause 11).

The parts of the equipment included in the determination of the converter efficiency shall be stated. For the definition of the converter alone, a guidance on the apparatus or components the losses of which are to be included or not, reference shall be made to the lists respectively included in 3.3.1 and 3.3.2 of IEC 60146-1-1. Losses in the d.c. link, due to d.c. reactors and/or capacitors, fuses (if any) and bus bars, not considered in 3.3.1 of IEC 60146-1-1, are a part of the total losses and shall be taken into account. In case of any doubt concerning whether the losses of a component of the converter equipment should be included or not when calculating the efficiency, it is to be stated whether such losses are included in the declared efficiency.

6.3 Transformateur

Les transformateurs doivent être définis pour satisfaire aux valeurs assignées permanentes de sortie et à la capacité de surcharge de l'ensemble convertisseur tel que défini en 6.2.

Les pertes fer complémentaires dues aux tensions harmoniques, de même que les pertes supplémentaires dues aux composantes à plus haute fréquence des courants harmoniques, doivent aussi être prises en compte, si besoin est.

Voir les détails complémentaires à l'article 10.

Il convient d'examiner les ondes de tension caractéristiques comprenant des exigences d'isolement, conformément à 8.2 et 8.4.

Les transformateurs doivent être conformes à la CEI 60146-1-3.

6.4 Moteur

6.4.1 Valeurs assignées d'entrée du moteur

La gamme de fréquence et de tension de fonctionnement pour la valeur spécifiée ou typique d'impédance de sortie (prenant en compte moteur et transformateur s'ils existent) doit être indiquée par le fournisseur du système en utilisant les paramètres suivants:

- U_{AN1} = tension moteur fondamentale assignée (valeur efficace du fondamental)
- f_{min} = fréquence minimale
- f_M = fréquence maximale.

Les gammes de tensions et de fréquences sont définies par le fournisseur du système. Les harmoniques et le temps de montée de la tension aux bornes du moteur doivent être indiqués par le fournisseur du système, voir l'article 9.

Les courants moteur doivent être indiqués par le fournisseur du système pour la valeur assignée de la tension moteur, la vitesse de base et la valeur assignée de la charge de l'entraînement:

- valeur efficace du courant moteur (I_{AN});
- le spectre du courant harmonique du moteur y compris le fondamental (I_{ANh}) doivent être établis à la valeur spécifiée ou à la valeur typique de l'impédance de sortie (comprenant moteur, transformateur et filtres s'ils existent);
- le courant d'excitation du moteur s'il existe;
- l'alimentation auxiliaire.

NOTE Il convient de prendre en compte, s'il y a lieu, les pertes complémentaires dues aux courants harmoniques de fréquence plus élevée. En conséquence, la valeur du courant assigné du moteur, dans les conditions effectives de fonctionnement, peut prendre en compte un certain déclassement comparée au courant assigné du moteur en alimentation sinusoïdale.

6.4.2 Caractéristiques assignées de sortie du moteur

Il convient que le fournisseur du système, l'acheteur et le fournisseur des matériels entraînés, s'accordent sur l'enveloppe de charge (voir 3.1.4). La capacité du moteur, à la fois pour le régime permanent et pour les conditions de surcharge, doit être compatible avec toutes les conditions exigées de fonctionnement en sortie de l'entraînement.

La puissance assignée du moteur est le produit du couple permanent maximal de sortie par la vitesse de base. Cette valeur ne correspond pas nécessairement à la puissance maximale nécessaire à la charge (inertie du système inclus). Dans les cas particuliers, il se peut qu'il faille choisir un moteur de plus grande taille afin d'être compatible avec des conditions de surcharges sévères ou avec un courant de résidu harmonique élevé.

6.3 Transformer

Transformers shall be rated to comply with the continuous output rating and overload capability of the converter assembly, as defined in 6.2.

Additional core losses due to voltage harmonics, as well as additional stray losses due to the higher frequency current harmonics shall also be considered, as appropriate.

Refer to clause 10 for additional details.

Voltage waveform characteristics including insulation requirements should be considered according to 8.2 and 8.4.

Transformers shall comply with IEC 60146-1-3.

6.4 Motor

6.4.1 Motor input ratings

The operating frequency and voltage range at the specified or typical output impedance (including motor and transformer if any) shall be provided by the system supplier using the following parameters:

- U_{AN1} = rated fundamental motor voltage
- f_{min} = minimum frequency
- f_M = maximum frequency.

Frequency and voltage ranges are defined by the system supplier. Harmonics and rise times of the voltage at motor terminals shall be provided by the system supplier, see clause 9.

The motor currents shall be provided by the system supplier at rated motor voltage, base speed and rated PDS load:

- the total r.m.s. current of the motor (I_{AN});
- the fundamental and the relevant harmonic current spectrum of the motor (I_{ANh}) shall be stated at the specified or typical output impedance (including motor and if any, transformer and filters);
- the excitation current of the motor, if any;
- the auxiliary supply.

NOTE The additional losses due to the higher frequency current harmonics should be taken into account, if appropriate. The rated value assigned to the motor current, under the actual PDS operating conditions, may therefore account for some derating, compared with the rated motor current under sinusoidal supply.

6.4.2 Motor output ratings

The load envelope (see 3.1.4) should be agreed between system supplier, customer and driven equipment supplier. The capacity of the motor both for continuous and overload operation, shall comply with all required operating output conditions of the PDS.

The rated motor power is the product of the maximum continuous output torque and the base speed. This does not necessarily correspond to the maximum power required by the load (system inertia included). In particular cases, an even larger motor rating could be selected to allow for severe overload conditions or current harmonic content.

7 Prescriptions de performances du contrôle

7.1 Performances en régime établi

7.1.1 Régime établi

Le système de contrôle est en régime établi lorsque la référence et la variable opérationnelle sont constantes depuis un temps supérieur à trois fois le temps d'établissement de l'asservissement et lorsque les variables de service sont constantes depuis un temps supérieur à trois fois la plus grande des constantes de temps de l'équipement (par exemple la constante de temps thermique du capteur de vitesse). Les performances de régime établi des variables telles que le couple, la vitesse, la position, etc. doivent être spécifiées conformément à 7.1.2 et 7.1.3.

7.1.2 Bande de précision (ou précision)

La bande de précision (voir figure 11), ou précision, est l'erreur totale que peut subir, en régime établi, la variable directement contrôlée (sauf mention explicite d'une autre variable). Cette erreur résulte d'un changement (à l'intérieur de leur plage spécifiée) dans les conditions de service ou dans les conditions opérationnelles (variables de perturbation).

La précision s'exprime:

- a) en pourcentage de la valeur maximale idéale de la variable directement contrôlée (ou spécifiée), voir exemple en 7.1.3;
- b) en valeur absolue quand les variables ne peuvent être exprimées en valeur relative, par exemple position.

Sauf accord contraire entre le fournisseur du système et l'acheteur, il convient de filtrer le signal représentant la variable directement asservie au moyen d'un filtre passe-bas du premier ordre de 100 ms de constante de temps afin d'en supprimer le bruit et l'ondulation.

NOTE La précision ne peut pas être utilisée pour définir des spécifications qui ne sont pas relatives aux performances en régime établi (par exemple: pulsation de couple, voir 8.4.4.4, ou ondulation de vitesse ayant pour origine le couple de charge ou les pulsations de couple moteur, voir 7.2.2.6).

7 Control performance requirements

7.1 Steady state performance

7.1.1 Steady state

The control system is in a steady state when the reference and operating variables have been constant for more than three times the settling time of the control system and the service variables have been constant for more than the three times the longest time constant of the equipment (for example the thermal time constant of the speed sensor). Steady state performance for drive variables such as torque, speed, position, etc. shall be specified in accordance with 7.1.2 et 7.1.3.

7.1.2 Deviation band

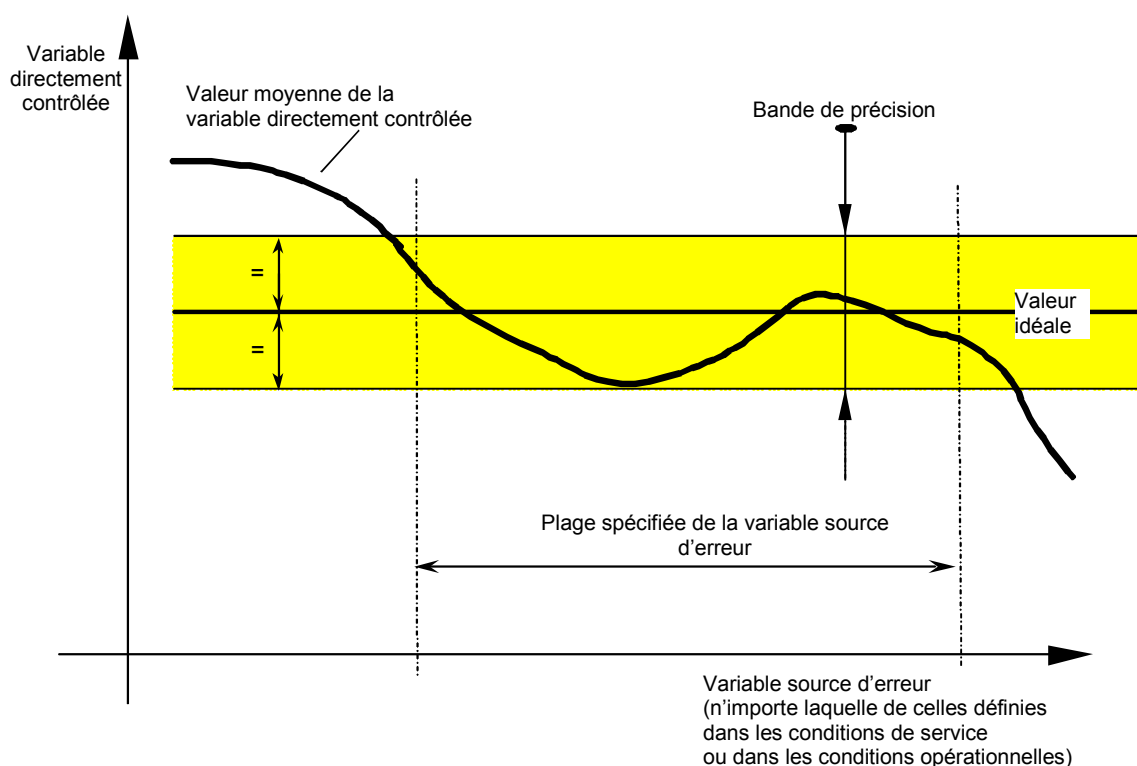
The deviation band (see figure 11) is the total excursion of the directly controlled variable (unless another variable is specified) under steady state conditions as a result of changes in the service or operating conditions within their specified ranges.

The deviation band is expressed:

- a) as a percentage of the ideal maximum value of the directly controlled (or other specified) variable, see example in 7.1.3;
- b) as an absolute number for variables which have no readily definable base, such as position

If not otherwise agreed upon between the system supplier and the customer, the signal representing the directly controlled variable should be filtered by a first order low-pass filter with a 100 ms time constant in order to remove noise and ripple from the signal.

NOTE The deviation band cannot be used to specify items which are not related with the steady state control performance (for example torque pulsation, see 8.4.4.4, or the speed ripple caused by load torque or motor torque pulsation, see 7.2.2.6).



IEC 2085/02

Figure 11 – Bande de précision

7.1.3 Choix de la précision (en régime établi)

Les performances de l'asservissement en régime établi doivent être décrites par un nombre sélectionné au tableau 6 (d'autres niveaux peuvent être définis par consentement mutuel).

L'intervalle de définitions de chaque variable pour lequel la précision s'applique doit être spécifié (voir figure 11).

Tableau 6 – Bandes de précision – Erreurs maximales (%)

±20	±10	±5	±2	±1	±0,5	±0,2	±0,1	±0,05	±0,02	±0,01
-----	-----	----	----	----	------	------	------	-------	-------	-------

EXEMPLE: Un entraînement comporte un moteur 60 Hz 1 780 r/min alimenté par un convertisseur de fréquence. La vitesse maximale de l'entraînement est de 2 000 r/min et la précision spécifiée du contrôle est $\pm 0,5\%$. Les conditions de fonctionnement sont: plage de vitesse 0 à 2 000 r/min; plage de couple de charge: zéro au couple assigné. Conditions de service, température ambiante de $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ainsi, l'erreur de la vitesse (valeur courante) par rapport à la valeur idéale (vitesse de référence) est:

$$\pm 0,5\% \text{ de } 2\,000 \text{ r/min} = \pm 10 \text{ r/min}$$

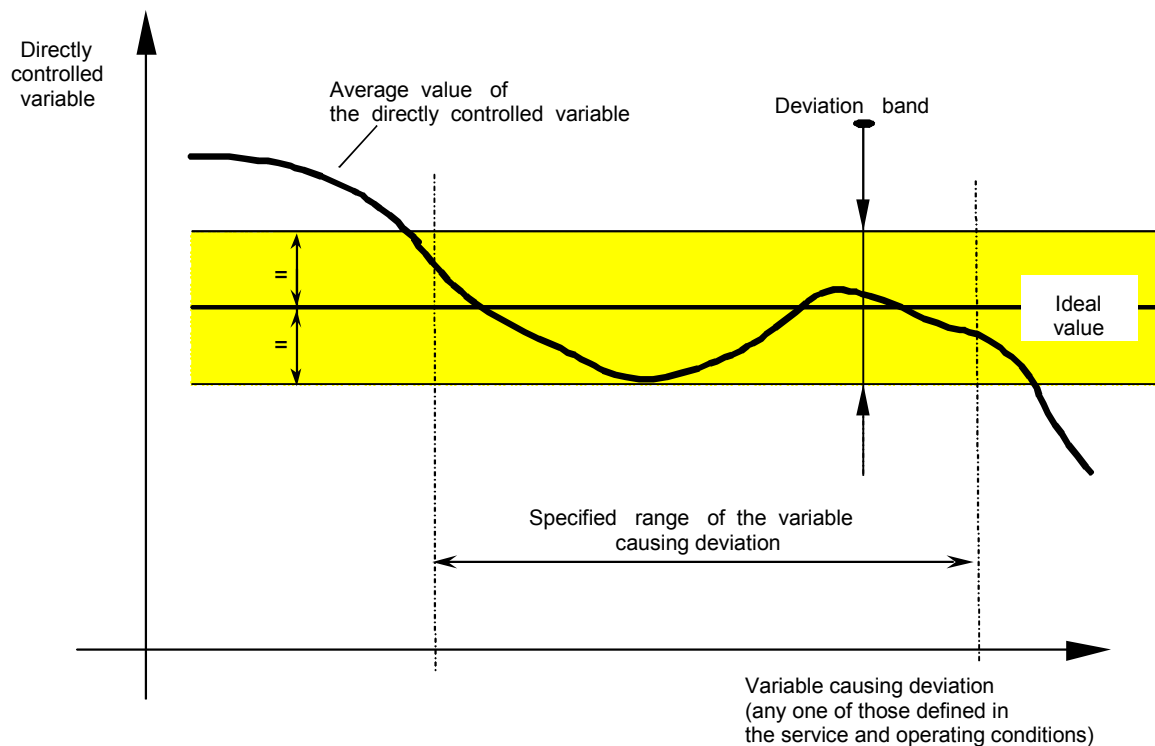
lorsque la valeur de la référence vitesse, du couple de charge et de la température appartiennent à leur domaine de variation spécifié.

Par exemple, si la référence vitesse est 1 200 r/min, la vitesse (valeur courante) du moteur sera $1\,200 \pm 10 \text{ r/min}$, c'est-à-dire comprise entre 1 190 r/min et 1 210 r/min.

7.2 Performance dynamique

7.2.1 Généralités

Les entraînements doivent être fournis soit avec une limitation de courant, soit avec une accélération à temps contrôlé.



IEC 2085/02

Figure 11 – Deviation band

7.1.3 Selection of deviation band (steady state)

The steady state performance of a feedback control system shall be described by a number, selected from table 6 (other levels may be defined by agreement).

The range of variables to which the deviation band apply shall be specified (see figure 11).

Table 6 – Maximum deviation bands (percent)

±20	±10	±5	±2	±1	±0,5	±0,2	±0,1	±0,05	±0,02	±0,01
-----	-----	----	----	----	------	------	------	-------	-------	-------

EXAMPLE: A drive has a 60 Hz 1 780 r/min motor that is fed by a frequency converter. The maximum speed of the drive is 2 000 r/min and the specified deviation band for the speed control is $\pm 0,5\%$. Operating conditions are, speed range: 0 to 2 000 r/min; load torque range: zero to rated torque. Service conditions, ambient temperature range: $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Thus, the deviation of the actual speed from the ideal value (speed reference) is:

$$\pm 0,5\% \text{ of } 2\,000 \text{ r/min} = \pm 10 \text{ r/min}$$

when the value of the speed reference, load torque and ambient temperature are within their specified ranges.

For example if the speed reference is 1 200 r/min, the actual speed of the motor will be $1\,200 \pm 10$ r/min, that is between 1 190 r/min and 1 210 r/min.

7.2 Dynamic performance

7.2.1 General

Drives shall be provided with either a current limit or a timed acceleration.

Si on considère que les performances dynamiques sont importantes, voir annexe B, les spécifications doivent faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur du système en utilisant les définitions suivantes.

7.2.2 Réponses temporelles

7.2.2.1 Vue globale

La réponse temporelle représente la sortie en fonction du temps résultant de l'application d'une entrée donnée, dans des conditions de fonctionnement et de service données (voir 10.3.4).

Sauf accord contraire entre l'acheteur et le fournisseur du système, l'entraînement doit fonctionner dans les conditions opérationnelles et dans les conditions de service suivantes, avant l'application de l'entrée spécifiée:

- vitesse de base;
- à vide;
- tension et fréquence assignée côté réseau;
- température stabilisée après 1 h de mise en température des appareils de mesures et des interfaces, la température ambiante étant dans la plage des conditions de service.

La caractéristique de sortie peut contenir une ondulation significative, par exemple due au fonctionnement des semi-conducteurs du convertisseur. On doit alors utiliser la valeur moyenne de la courbe pour définir la réponse temporelle, voir figure 12, sauf accord contraire entre le fournisseur du système et l'acheteur.

Les réponses temporelles typiques d'un entraînement sont la réponse temporelle suivant un échelon de références vitesse, de références courant ou de références de couple, voir figure 12, et la réponse temporelle suivant un changement dans le couple de charge, voir figure 13. Sauf accord contraire entre le fournisseur du système et l'acheteur, on doit supposer que le couple de charge croît linéairement de 0 à une valeur spécifiée (ou décroît d'une valeur spécifiée à 0) en un temps inférieur à 100 ms, sans dépassement.

7.2.2.2 Temps de réponse

Le temps de réponse est le temps nécessaire, après le début de l'excitation du système, pour que la sortie atteigne une valeur définie proche de la valeur idéale.

La valeur spécifiée pour définir le temps de réponse suivant un échelon de référence en entrée, voir figure 12, doit être la valeur moyenne initiale plus 90 % de l'incrément en régime établi. Sauf accord contraire entre le fournisseur du système et l'acheteur, le dépassement transitoire doit être inférieur ou égal à 10 % de l'incrément en régime établi.

La valeur spécifiée pour définir le temps de réponse suivant une variation de la variable opérationnelle, voir figure 13, doit être la valeur moyenne finale plus 10 % de la déviation transitoire maximale.

7.2.2.3 Temps de montée

Le temps de montée est le temps nécessaire pour que la sortie d'un système asservi passe d'une faible partie de la valeur de régime établi d'un incrément à une forte partie de cette valeur, soit avant le dépassement ou en absence de dépassement (voir figure 12).

Sauf accord contraire entre le fournisseur du système et l'acheteur, la partie faible doit être de 10 %, tandis que la partie forte doit être de 90 % et le dépassement transitoire doit être inférieur ou égal à 10 % de la valeur de régime établi de l'incrément.

If dynamic performance is considered important (see annex B), the specification shall be agreed upon between the customer and system supplier by using the following definitions.

7.2.2 Time responses

7.2.2.1 Overview

Time response represents the output versus time curve resulting from the application of a specified input, under specified operating and service conditions (see 10.3.4).

If not otherwise agreed upon between the customer and system supplier, the drive shall operate before the application of a specified input under the following operating and service conditions:

- base speed;
- no load;
- rated system voltage and frequency;
- temperature stabilized after a 1 h warm-up of the measuring equipment and interfaces, ambient temperature being within service conditions.

The output curve may contain a significant amount of ripple, for example due to the operation of the semiconductor devices in the converter. The average curve shall be used in the determination of the time response, see figure 12, if not otherwise agreed upon between the system supplier and customer.

Typical time responses for a drive system are the time responses following a step change of speed reference, current reference or torque reference, figure 12, and the time response following a change in the load torque, figure 13. For specification purposes, the load torque of the driven equipment shall be assumed to increase linearly from zero to a specified torque (or decrease from a specified torque to zero) within 100 ms, without overshoot, if not otherwise agreed between the system supplier and customer.

7.2.2.2 Response time

The response time is the time required, following the initiation of a specified stimulus to a system, for an output going in the direction of the necessary corrective action to first reach a specified value.

The specified value for a time response following a step change of reference input, see figure 12, shall be the initial average value plus 90 % of the steady state increment. The transient overshoot shall be equal to or less than 10 % of the steady state increment if not otherwise agreed upon between the system supplier and customer.

For a time response following a change in an operating variable, figure 13, the specified value shall be the final average value plus 10 % of the maximum transient deviation.

7.2.2.3 Rise time

The rise time is the time required for the output of a control system to make the change from a small specified percentage of the steady-state increment to a large specified percentage of the steady-state increment, either before overshoot or in the absence of overshoot (see figure 12).

The small specified percentage shall be 10 %, the large specified percentage shall be 90 % and the transient overshoot shall be equal to or less than 10 % of the steady state increment if not otherwise agreed upon between the system supplier and customer.

Si le terme temps de montée n'est pas davantage détaillé, il est sous-entendu qu'il correspond à une excitation en échelon. Dans le cas contraire, il convient de spécifier la forme et l'amplitude de l'excitation.

7.2.2.4 Temps d'établissement

Le temps d'établissement est le temps nécessaire, après le début d'une excitation donnée à un système, pour qu'une variable donnée entre et reste dans les limites d'une (bande de) précision définie centrée sur sa valeur moyenne finale.

Sauf accord contraire entre le fournisseur du système et l'acheteur, la bande de précision spécifiée doit être de $\pm 2\%$ de la valeur de régime établi de l'incrément dans le cas d'une réponse temporelle suivant un échelon sur la référence d'entrée, voir figure 12.

Sauf accord contraire entre le fournisseur du système et l'acheteur, la bande de précision spécifiée doit être de $\pm 5\%$ de la déviation transitoire maximale dans le cas d'une réponse temporelle suivant une variation de la variable opérationnelle, voir figure 13.

7.2.2.5 Dérive de position sur impact de charge

La surface de l'écart de vitesse (correspondant à une dérive de position) fournit une évaluation de la réponse d'un asservissement de vitesse dû à un changement rapide du couple de charge (voir figure 13). La relation est donnée par:

$$\frac{\text{temps de réponse} \times \text{dévi}ation \text{ maximale transitoire}}{2}$$

dans laquelle la déviation maximale transitoire est donnée en pourcentage de la vitesse maximale de fonctionnement. Ainsi, l'unité de la dérive de position sur impact de charge est en pour cent x seconde (% s).

7.2.2.6 Facteur d'amplification de couple (TAF)

Le facteur d'amplification de couple est le rapport:

$$TAF = \frac{M_P - M_{ini}}{M_{inc}}$$

où M_P est le couple de crête sur l'arbre du système à la suite de l'augmentation rapide du couple de charge d'une valeur M_{inc} , et M_{ini} est le couple initial avant augmentation.

If the term “rise time” is unqualified, response to a step change is understood. Otherwise, the pattern and magnitude of the stimulus should be specified.

7.2.2.4 Settling time

The settling time is the time required, following the initiation of a specified stimulus to a system, for a specified variable to enter and remain within a specified narrow band centered on its final average value.

For a time response following a step change of reference input, see figure 12, the specified band shall be $\pm 2\%$ of the steady state increment, if not otherwise agreed upon between the system supplier and the customer.

For a time response following a change in an operating variable, see figure 13, the specified band shall be $\pm 5\%$ of the maximum transient deviation, if not otherwise agreed between the system supplier and the customer.

7.2.2.5 Load impact speed deviation area

Load impact speed deviation area (corresponding to a drift of the position) provides an assessment of the response of a speed control for a sudden change in load torque (see figure 13). The formula is

$$\frac{\text{response time} \times \text{maximum transient deviation}}{2}$$

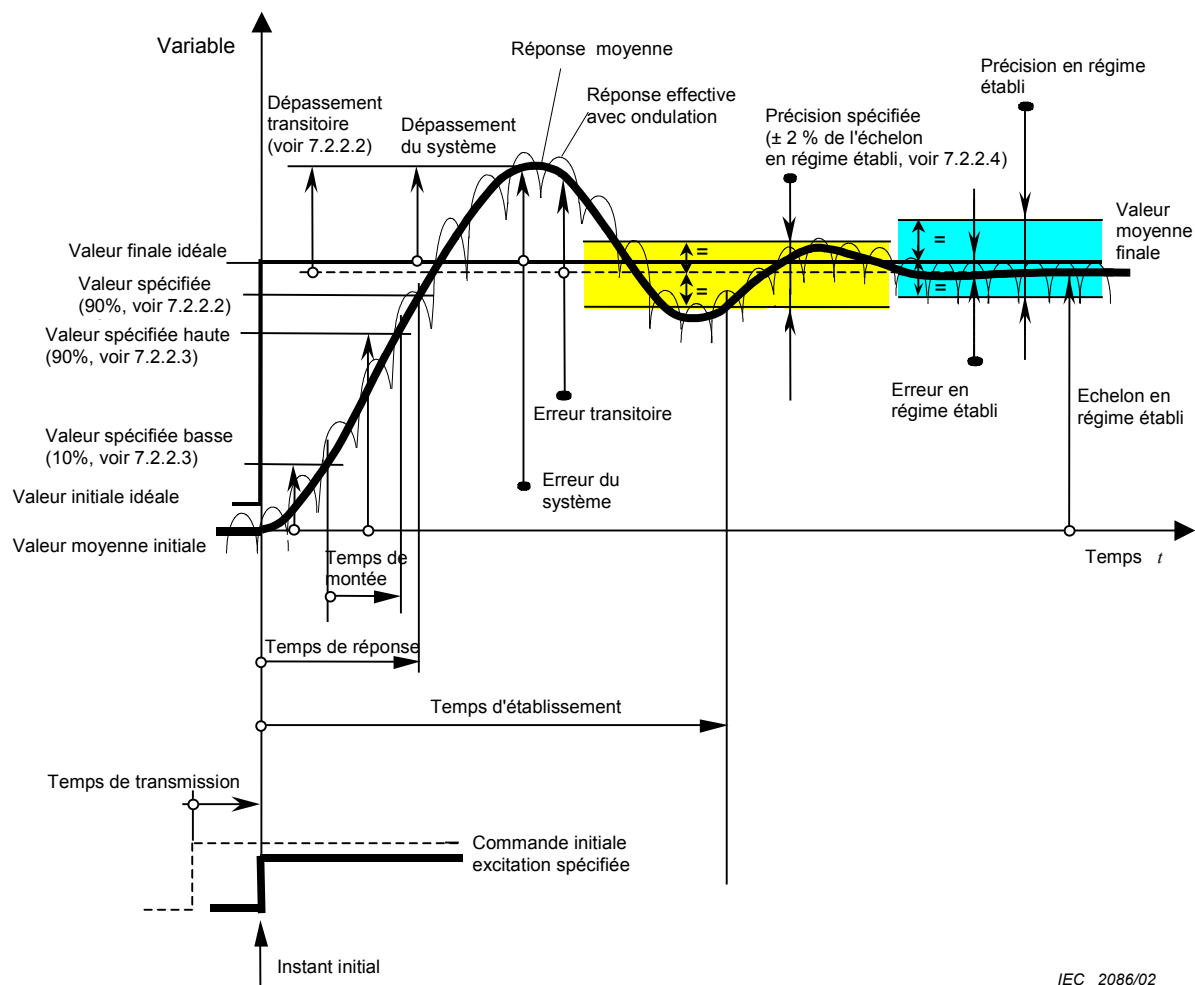
where the maximum transient deviation is given as a percentage of the maximum operating speed. Thus, the unit of the load impact speed deviation area is percent seconds (%s).

7.2.2.6 Torque amplification factor (*TAF*)

Torque amplification factor is the ratio

$$TAF = \frac{M_P - M_{ini}}{M_{inc}}$$

where M_P is the peak torque encountered in the shaft system after a sudden increase in the load torque by the amount M_{inc} , and M_{ini} is the initial torque before the torque increase.



IEC 2086/02

Figure 12 – Réponse temporelle suivant une variation de référence d'entrée en échelon – Variable opérationnelle constante

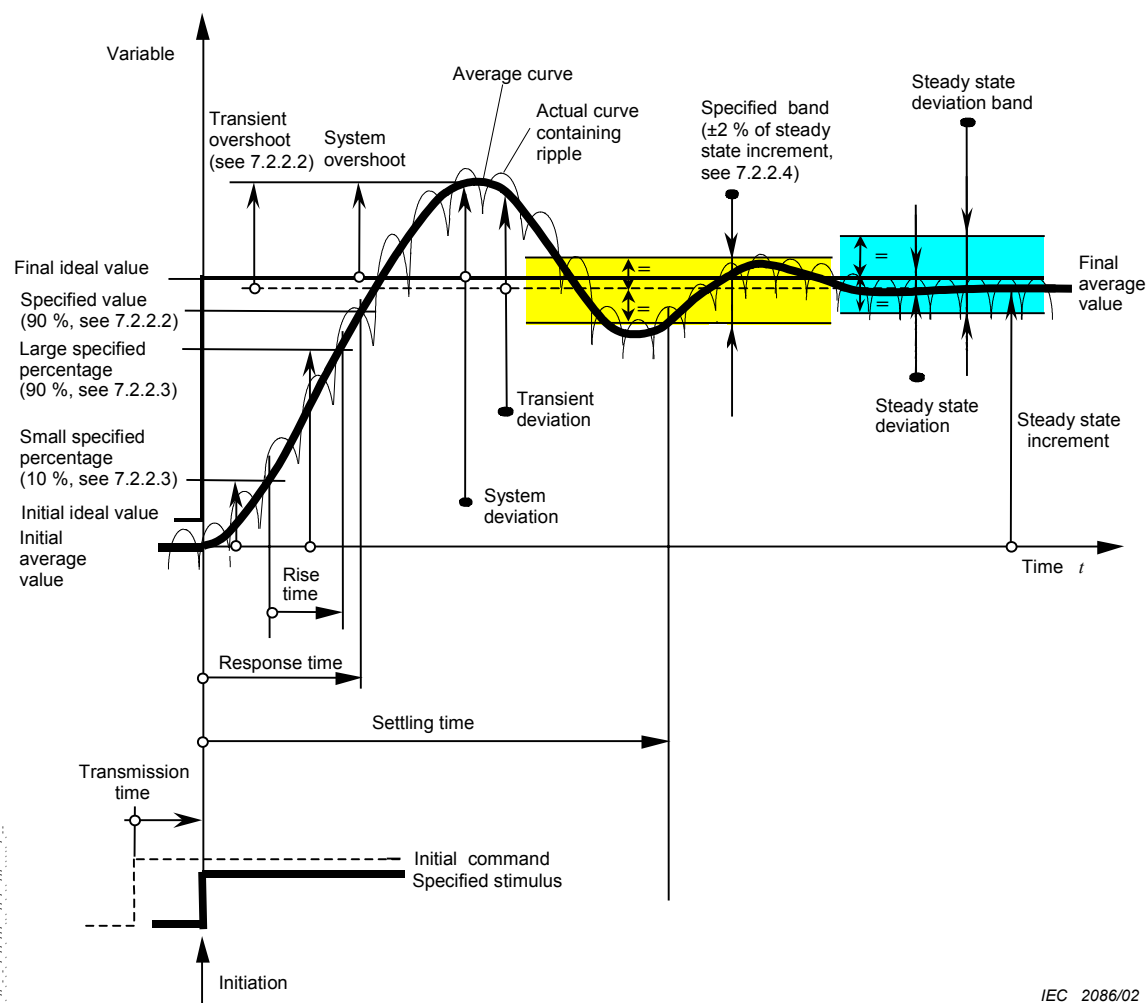


Figure 12 – Time response following a step change of reference input – no change in operating variables

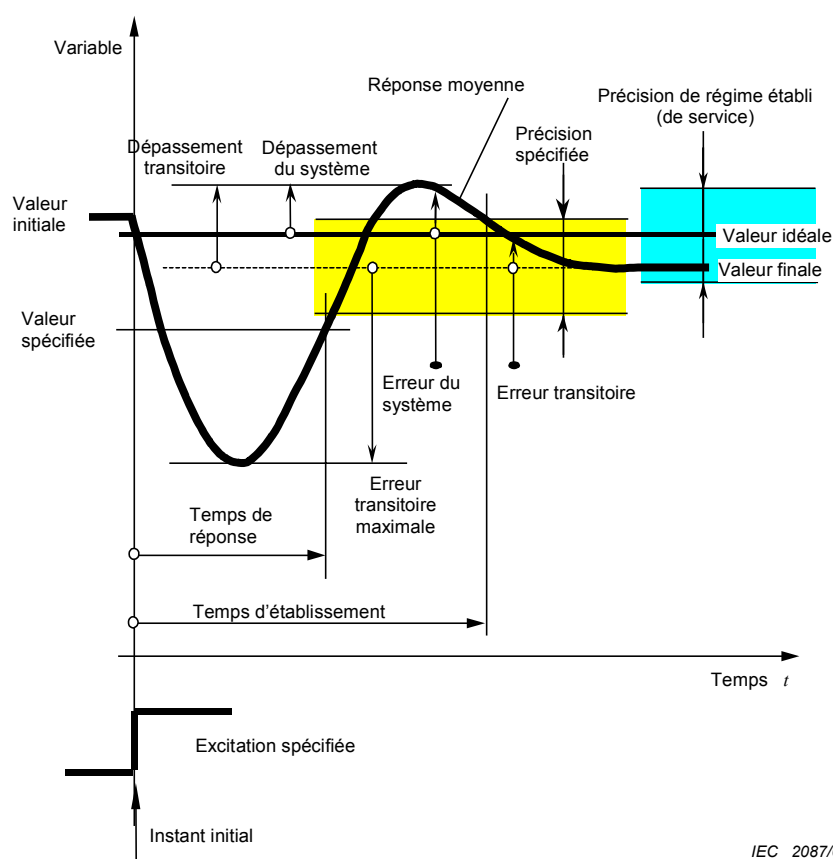


Figure 13 – Réponse temporelle suivant une variation de la variable opérationnelle – Référence constante

7.2.2.7 Erreur dynamique

L'erreur dynamique est l'erreur entre la référence (valeur idéale) et la valeur actuelle lors d'une variation de la référence à un taux spécifié (voir figure 14).

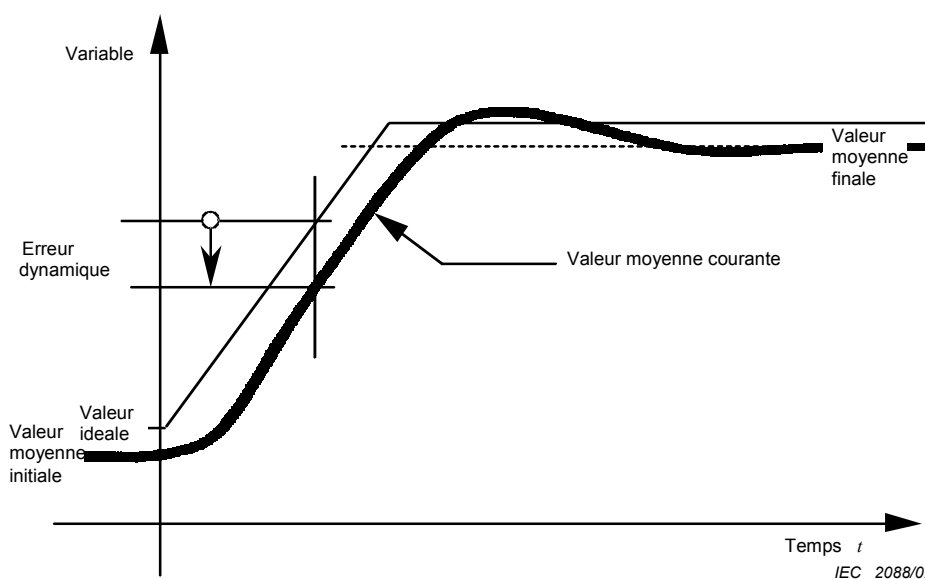
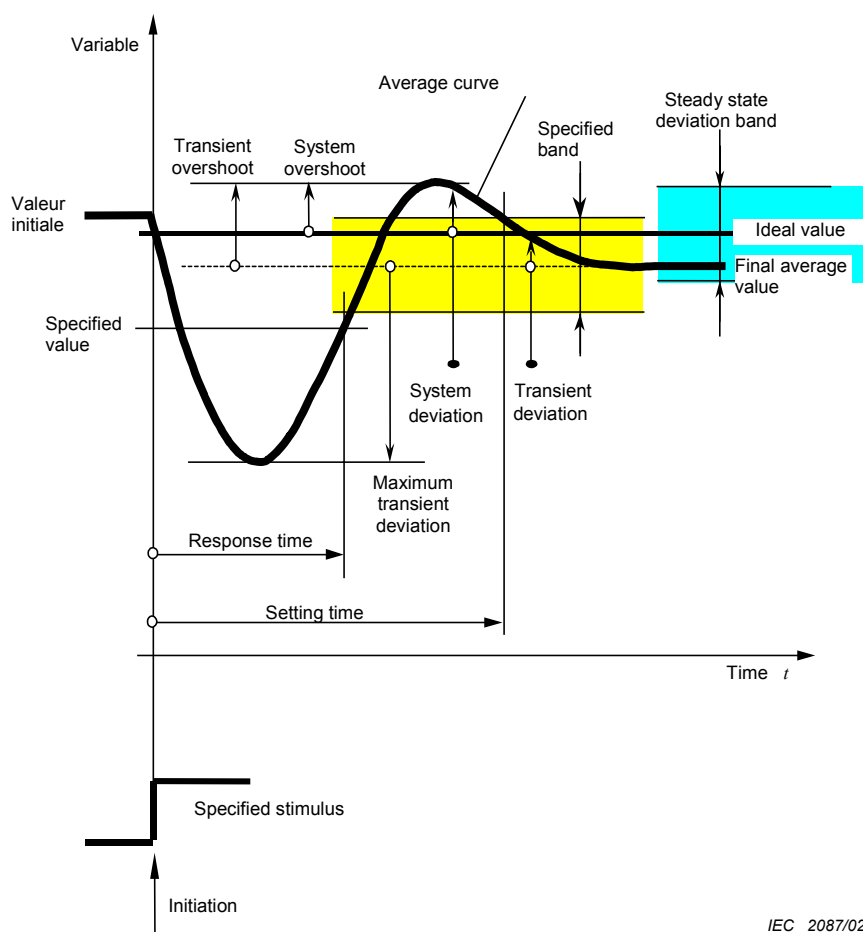


Figure 14 – Réponse temporelle suivant une variation de la référence à un taux spécifié

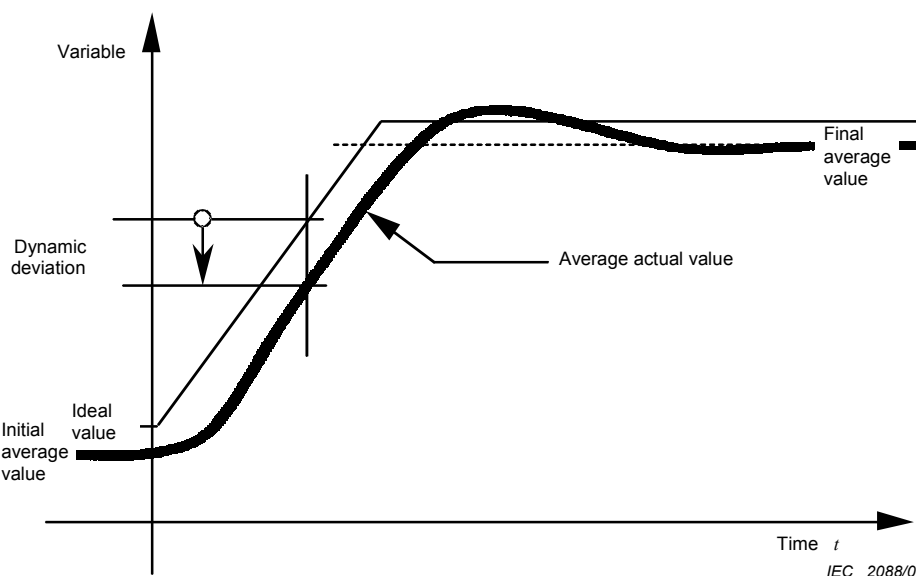


IEC 2087/02

Figure 13 – Time response following a change in an operating variable – no reference change

7.2.2.7 Dynamic deviation

Dynamic deviation is the deviation between the reference (ideal value) and actual value when the reference is changed at specified rate (see figure 14).



IEC 2088/02

Figure 14 – Time response following a reference change at specified rate

7.2.3 Réponse en fréquence de l'asservissement

7.2.3.1 Analyse en fréquence

La réponse en fréquence représente l'amplitude du rapport (gain) et la différence de phase entre la variable asservie et l'excitation sinusoïdale, en boucle fermée, avec une excitation sinusoïdale fonction de la fréquence.

NOTE 1 On peut utiliser des excitations à fréquences multiples (bruit) à la place d'une excitation sinusoïdale à fréquence variable lorsqu'on mesure la réponse à l'aide d'un analyseur de fréquence.

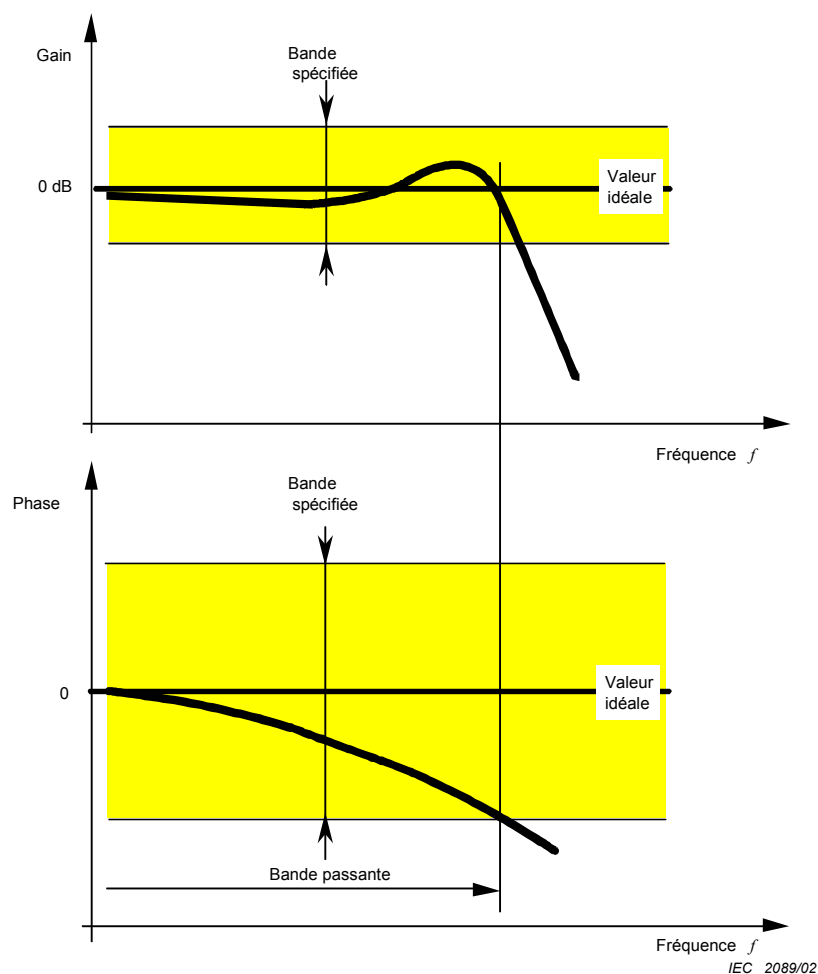
NOTE 2 L'usage veut qu'on mesure le gain en décibels (dB), voir la CEI 60027-3. La relation est:

$$G = 20 \log_{10} \left(\frac{F_2}{F_1} \right) \text{ dB}$$

où F_2/F_1 est le rapport d'amplitude, et G est le gain. Par exemple si le rapport d'amplitude est 0,708, le gain est environ -3 dB.

7.2.3.2 Bande passante de l'asservissement

La bande passante de l'asservissement est l'intervalle de fréquence dans lequel le gain et le déphasage de la réponse en fréquence par rapport à l'excitation de référence restent à l'intérieur d'une bande de tolérance centrée respectivement sur les valeurs 0 dB et 0 degré, voir figure 15. Sauf accord contraire entre le fournisseur du système et l'acheteur, les bandes spécifiées doivent être ± 3 dB et $\pm 90^\circ$.



NOTE La bande passante de l'asservissement, dans le cas de cette figure, est définie par le déphasage.

Figure 15 – Réponse fréquentielle de l'asservissement – Excitation en référence

7.2.3 Frequency response of the control

7.2.3.1 Frequency analysis

Frequency response represents the amplitude ratio (amplification) and phase difference between the controlled variable and the sinusoidal stimulus as a function of the stimulus frequency when the feedback loop (if it exists) is closed.

NOTE 1 It is possible to use multi-frequency stimulus (noise) instead of the sinusoidal variable frequency stimulus when the frequency response is measured by using a frequency analyzer.

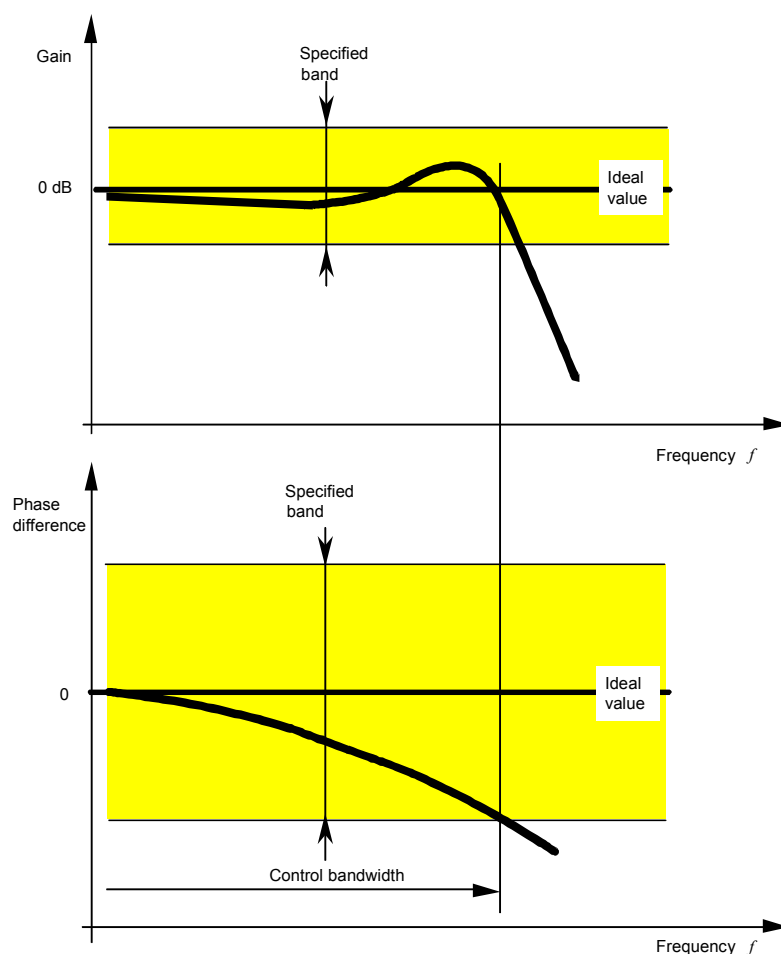
NOTE 2 It is common to use decibels (dB) with the amplification, see IEC 60027-3. The formula is:

$$G = 20 \log_{10} \left(\frac{F_2}{F_1} \right) \text{ dB}$$

where F_2/F_1 is the amplitude ratio and G is the gain. For example, if the amplitude ratio is 0,708, the gain is approximately –3 dB.

7.2.3.2 Control bandwidth

The control bandwidth is the frequency interval where both the amplification (gain) and phase difference of the frequency response with the reference variable as a stimulus remain within specified bands centered on 0 dB and 0 degrees values, respectively, see figure 15. The specified bands shall be ± 3 dB and $\pm 90^\circ$ if not otherwise agreed between the system supplier and customer.



NOTE The control bandwidth of the case shown in the figure is limited by the specified phase band.

Figure 15 – Frequency response of the control – reference value as stimulus

7.2.3.3 Sensibilité aux perturbations

La sensibilité aux perturbations est l'amplification de la réponse fréquentielle lorsque l'excitation est appliquée à une variable opérationnelle. Le couple pulsateur de la charge est un exemple typique de la sensibilité de la vitesse du moteur, voir article B.3).

NOTE La sensibilité peut être exprimée en dB seulement lorsque l'amplitude de la variable asservie et l'amplitude de l'excitation sont exprimées en pour un (p.u.).

7.3 Performances de l'interface procédé asservissement

7.3.1 Généralités

L'interface procédé asservissement et ses performances doivent être définis et acceptés entre le fournisseur du système (voir 8.1) et l'acheteur à une étape aussi préliminaire que possible. Ces définitions doivent être établies sur la base de la liste suivante.

7.3.2 Performance des entrées analogiques

Les postes spécifiés peuvent comprendre ceux de la liste suivante sans qu'elle soit limitative:

- nombre d'entrées analogiques;
- type d'entrée analogique, par exemple
 - entrée en tension de mode commun,
 - entrée en tension différentielle,
 - entrée en boucle de courant;
- tension d'isolement de l'entrée;
- gamme de tension ou courant d'entrée en fonction du type d'entrée;
- impédance d'entrée;
- constante de temps ou bande passante du filtre passe-bas matériel;
- erreurs de gain et d'offset;
- résolution du convertisseur A/D, s'il existe;
- période d'échantillonnage du convertisseur A/D, s'il existe.

NOTE Voir une liste plus complète dans la CEI 61131-2.

7.3.3 Performance des sorties analogiques

Les postes spécifiés peuvent comprendre ceux de la liste suivante sans qu'elle soit limitative:

- nombre de sorties analogiques;
- type de sortie analogique, par exemple
 - sortie en tension de mode commun,
 - sortie en tension différentielle,
 - sortie en boucle de courant;
- tension d'isolement de la sortie;
- gamme de tension ou courant de sortie en fonction du type de sortie;
- charge maximale;
- constante de temps ou bande passante du filtre passe-bas matériel;
- erreurs de gain et d'offset;
- résolution du convertisseur D/A, s'il existe;
- période de conversion du convertisseur D/A, s'il existe.

NOTE Voir une liste plus complète dans la CEI 61131-2.

7.2.3.3 Disturbance sensitivity

The disturbance sensitivity is the frequency response amplification when the stimulus is a specified operating variable. Typical example is the sensitivity of the motor speed for pulsating load torque, see clause B.3.

NOTE The sensitivity may be expressed in dB only when both the controlled variable amplitude and the stimulus amplitude are expressed in per unit (p.u.).

7.3 Process control interface performance

7.3.1 General

The process control interface and its performance has to be defined and agreed upon between the system supplier (see 8.1) and the customer in as early a stage as possible. The following list shall be used for the definitions.

7.3.2 Analog input performance

The items specified may include, but are not limited to, the following:

- number of analog inputs;
- type of analog input, for example
 - single-ended voltage input,
 - differential voltage input,
 - current loop input;
- isolation voltage level of the input;
- input voltage or current range depending on the input type;
- input impedance;
- time constant or bandwidth of the hardware low-pass filter;
- gain and offset errors;
- resolution of the A/D converter, if it exists;
- sampling interval of the A/D converter, if it exists.

NOTE For a more complete list see IEC 61131-2.

7.3.3 Analog output performance

The items specified may include, but are not limited to, the following:

- number of analog outputs;
- type of analog output, for example
 - single-ended voltage output,
 - differential voltage output,
 - current loop output;
- isolation voltage level of the output;
- output voltage or current range depending on the output type;
- maximum load;
- time constant or bandwidth of the hardware low-pass filter;
- gain and offset errors;
- resolution of the D/A converter, if it exists;
- conversion interval of the D/A converter, if it exists.

NOTE For a more complete list see IEC 61131-2.

7.3.4 Performance des entrées digitales

Les postes spécifiés peuvent comprendre ceux de la liste suivante sans qu'elle soit limitative:

- nombre d'entrées digitales;
- type d'entrée digitale, par exemple
 - entrée à relais,
 - entrée à isolement optique;
- tension d'isolement de l'entrée;
- tension de contrôle assigné et type (alternatif ou continu);
- résistance d'entrée;
- temps de propagation de l'entrée.

7.3.5 Performance des sorties digitales

Les postes spécifiés peuvent comprendre ceux de la liste suivante sans qu'elle soit limitative:

- nombre de sorties digitales;
- type de sortie digitale, par exemple
 - sortie à relais, contact normalement ouvert,
 - sortie à relais, contact normalement fermé,
 - transistor de sortie, normalement ouvert;
- tension d'isolement de sortie;
- tension maximale et type (alternatif ou continu);
- courant maximal et type (alternatif ou continu);
- retard de fonctionnement de la sortie;
- temps de propagation entre l'entrée et la sortie.

NOTE Voir une liste plus complète dans la CEI 61131-2.

7.3.6 Performance des lignes de communication

Les postes spécifiés peuvent comprendre ceux de la liste suivante sans qu'elle soit limitative:

- nombre de lignes de communication;
- type de ligne de communication, par exemple
 - ligne pour mise en service et maintenance,
 - ligne de système automatique;
- type de l'interface physique (type de câbles et de connecteurs);
- protocole;
- vitesse maximale de transfert des données en bits par seconde;
- longueur maximale du câble qui peut être utilisé pour la ligne;
- nombre maximal de lignes pouvant être connectées au même câble de communication ou au système de bus.

7.3.4 Digital input performance

The items specified may include, but are not limited to, the following:

- number of digital inputs;
- type of digital input, for example
 - relay input,
 - optocoupler input;
- isolation voltage level of the input;
- rated control voltage and type (a.c. or d.c.);
- input resistance;
- propagation delay of the input.

7.3.5 Digital output performance

The items specified may include, but are not limited to, the following:

- number of digital outputs;
- type of digital output, for example
 - relay output, normally open contact,
 - relay output, normally closed contact,
 - transistor output, normally open;
- isolation voltage level of the output;
- maximum voltage and type (a.c. or d.c.);
- maximum current and type (a.c. or d.c.);
- operation delay of the output;
- propagation delay from input to output.

NOTE For a more complete list see IEC 61131-2.

7.3.6 Performance of communication links

The items specified may include but are not limited to the following;

- number of communication links;
- type of communication link, for example
 - commissioning and maintenance link,
 - automation system link;
- type of the physical interface (connector and cable type);
- protocol used;
- maximum data transfer rate in bits per second;
- maximum length of the cable that can be connected to the link;
- maximum number of links that can be connected to the same communication cable or communication bus system.

8 Composants principaux du système d'entraînement

8.1 Responsabilités

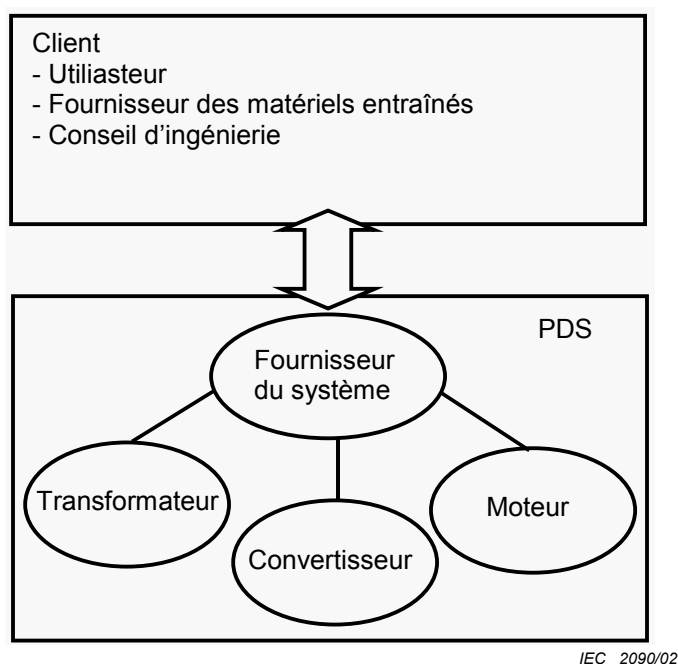


Figure 16 – Responsabilités du fournisseur du système

Le fournisseur du système est typiquement responsable:

- de l'établissement d'une définition claire et d'un accord avec l'acheteur concernant les interfaces externes du système d'entraînement (voir article 7 et article 9);
- de l'établissement d'une définition claire et d'un accord avec l'acheteur concernant les performances du système d'entraînement (voir article 7 et article 9) et la définition des critères de qualification utilisés lors des essais;
- de l'établissement d'une définition claire et d'un accord avec les constructeurs des composants, concernant les spécifications de chaque composant principal du système d'entraînement (transformateur, convertisseur, moteur, voir article 8), et la définition des critères de qualification utilisés lors des essais.

La responsabilité du lot mécanique incombe typiquement au fournisseur des matériels entraînés. Dans les cas critiques (voir 9.4), il est recommandé d'établir une communication directe entre le fournisseur du système et celui des matériels entraînés.

Le fournisseur du système est responsable de l'organisation de la coopération entre les spécialistes du convertisseur, du moteur, des matériels entraînés et de l'ensemblier.

8.2 Transformateur

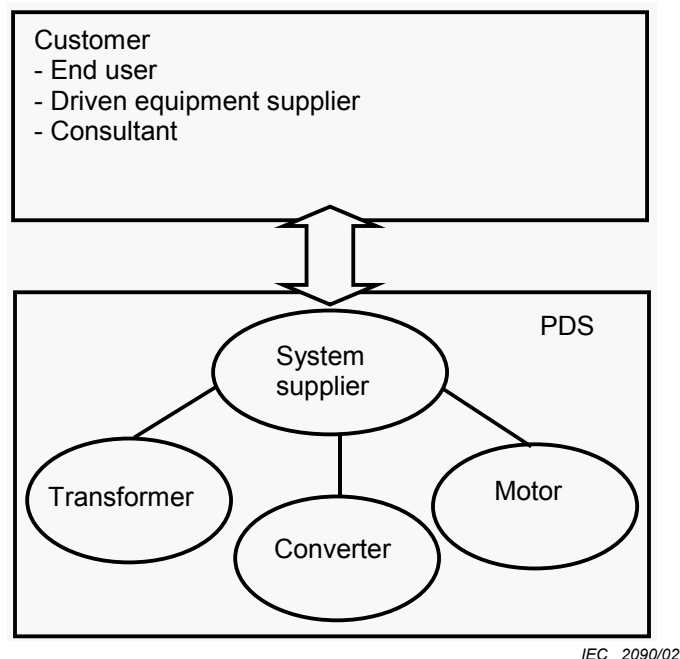
8.2.1 Introduction

Ce paragraphe concerne les transformateurs et bobines d'inductance de la partie puissance du système d'entraînement (PDS). Les transformateurs peuvent être utilisés côté source du PDS (réseau d'alimentation de puissance) ou côté charge du PDS (moteur). Ces transformateurs ont pour objet:

- d'adapter les tensions;
- d'assurer un isolement;
- d'éliminer des émissions harmoniques.

8 PDS main components

8.1 Responsibilities



IEC 2090/02

Figure 16 – Responsibilities of the system supplier

The system supplier is typically responsible:

- for the clarification and agreement on the external interfaces of the PDS with the customer (see clause 7 and clause 9);
- for the clarification and agreement on the PDS performance specification with the customer (see clause 7 and clause 9), and the acceptance criteria for testing;
- for the clarification and agreement with the component manufacturers, on the specifications of the main components of the drive system (transformer, converter, motor, see clause 8) and the acceptance criteria for testing.

The driven equipment supplier is typically responsible for the mechanical string. In critical cases (see 9.4), it is recommended to establish a direct communication between the system supplier and the driven equipment supplier.

The system supplier is responsible for the organization of the necessary co-operation between converter, assembler, driven equipment and motor-specialists.

8.2 Transformer

8.2.1 Introduction

This subclause addresses transformers and reactors in the main power path of the power drive system (PDS). Transformers can be used at the source (power system) end of the PDS or at the load (motor) end of the PDS. The purposes of transformers include:

- voltage matching;
- isolation;
- harmonic cancellation.

Les transformateurs secs ou les transformateurs à remplissage liquide sont des constructions standards dans les applications des systèmes d'entraînement. Les exigences sont prévues pour assurer la compatibilité des transformateurs aux conditions de charge des entraînements.

Il convient que le dimensionnement fondamental du transformateur soit conforme à la CEI 60146-1-3.

Les transformateurs fournis comme partie de l'entraînement doivent être dimensionnés correctement pour satisfaire aux exigences:

- de la charge en régime établi;
- d'une surcharge momentanée quelconque.

Pour les systèmes d'entraînement qui fonctionnent normalement à vitesse variable, il convient que le transformateur soit dimensionné pour fournir la puissance nécessaire sur la base d'un régime établi. On peut calculer la puissance apparente thermique (kVA) du transformateur à partir des surcharges périodiques.

8.2.2 Dimensionnement

8.2.2.1 Courant et tension harmoniques

Les modules de convertisseur sont à l'origine de courant et tension harmoniques qui créent des contraintes supplémentaires (thermiques, isolements) des transformateurs qui y sont connectés. La conception du transformateur doit particulièrement prendre en compte:

- les pertes supplémentaires de bobinage pour chaque enroulement;
- les pertes fer complémentaires;
- les exigences supplémentaires d'isolement (comprenant les tensions de mode commun et l'accroissement des contraintes de tension).

On peut envisager l'utilisation de transformateurs standards dans le cas de convertisseurs suffisamment filtrés du côté réseau, en supposant qu'il existe une marge pour les tensions de mode commun (exigences d'isolement).

8.2.2.2 Couplage des bobinages

La CEI 60076-1, dans son annexe D, contient les couplages de transformateurs les plus courants et les symboles associés.

Les exigences (par exemple déphasage, couplage, impédance) doivent être clairement établies pour la conception du transformateur et l'installation.

8.2.2.3 Exigences sur les erreurs de déphasage

L'atténuation de l'émission harmonique au moyen d'un transformateur à indice de pulsation multiple et des circuits de convertisseurs associés dépend de la précision du calage des phases entre enroulements. Les erreurs de déphasage entre enroulements sont spécifiées à la fréquence fondamentale. Les erreurs de phase sont source d'une erreur largement plus importante à la fréquence harmonique qu'à la fréquence fondamentale.

Par exemple, une erreur de phase de 2° sur le fondamental d'un entraînement d'indice de pulsation 12 produit une erreur de $(5+1)^\circ \times 2^\circ = 12^\circ$ pour l'harmonique de rang 5 et de $(7-1)^\circ \times 2^\circ = 12^\circ$ pour l'harmonique de rang 7. Les valeurs résiduelles correspondantes, dans le cas d'un convertisseur en source de courant sont alors:

$$\frac{I_5}{I_1} = \frac{1}{5} \times \sin \left(\frac{12^\circ}{2} \right) = 0,021 \quad \text{et} \quad \frac{I_7}{I_1} = \frac{1}{7} \times \sin \left(\frac{12^\circ}{2} \right) = 0,015$$

Standard transformer construction types which are applied in PDS are dry-type and liquid-filled coil. These requirements are intended to assure the suitability of transformers for drive system duty.

The fundamental rating of the transformer should be in accordance with IEC 60146-1-3.

Transformers supplied as part of the PDS shall be properly rated to meet the requirements:

- of the steady state load;
- any momentary overloads.

For drive systems that normally run in adjustable speed mode, the transformer should be rated to deliver the required power on a steady state basis. Periodic overloads can be used to calculate a r.m.s. apparent power (kVA) loading for the transformer.

8.2.2 Specification and rating

8.2.2.1 Harmonic currents and voltages

Converter modules cause harmonic currents and voltages, which cause an additional stress for the connected transformers (thermal, insulation). The transformer design shall take special care of

- additional winding losses of each winding;
- additional iron core losses;
- additional insulation requirements (including common mode voltages and increased voltage stress).

In cases where the converter is filtered sufficiently on the valve side of the transformer, the use of standard transformers may be considered, assuming allowance is made for common mode voltages (insulation requirements).

8.2.2.2 Winding arrangement

Annex D of IEC 60076-1, contains the most common transformer winding arrangements and connection symbols.

The requirements (for example phase shift, winding arrangement, impedances) shall be clearly stated for the transformer design and installation purposes.

8.2.2.3 Phase offset requirements

The harmonic attenuation effects to be achieved by multi-pulse transformer and converter circuits depend on the accuracy of the phase shift between the windings. The phase shift between the windings are specified at the fundamental frequency. Errors in the fundamental phase shift result in a much higher error at the harmonic frequency than at the fundamental frequency.

For example a 2° error in phase shift for the fundamental of a 12 pulse PDS results in a phase error of $(5 + 1)^\circ \times 2^\circ = 12^\circ$ for the 5th and $(7 - 1)^\circ \times 2^\circ = 12^\circ$ for the 7th order harmonics. The corresponding residual values in case of a current source converter are:

$$\frac{I_5}{I_1} = \frac{1}{5} \times \sin\left(\frac{12^\circ}{2}\right) = 0,021 \quad \text{and} \quad \frac{I_7}{I_1} = \frac{1}{7} \times \sin\left(\frac{12^\circ}{2}\right) = 0,015$$

L'élimination des harmoniques de rang supérieur se pratique avec un déphasage de 15° , à partir d'enroulements en delta étendu ou en zigzag. C'est alors l'harmonique de rang 11 qui présente le plus d'intérêt et un écart de phase de 2° produit un résidu encore plus important.

Il convient de maintenir l'erreur de phase résultante pour un transformateur d'indice de pulsation 12 en dessous de 2° , comprenant l'erreur sur les enroulements du transformateur et l'erreur sur le contrôle d'allumage des thyristors.

8.2.2.4 Exigences concernant la plaque signalétique

Les exigences suivantes reposent sur celles de 7.1 de la CEI 60076-1. Les informations ci-dessous doivent être fournies en supplément de celles de la plaque signalétique telle que définie en 7.1 de la CEI 60076-1.

- a) Nature du transformateur (par exemple, transformateur d'alimentation de convertisseur, autotransformateur en sortie de convertisseur, etc.) en tant que description de la fonction du transformateur dans l'entraînement.
- b) Nombre de phases en entrée et en sortie. En alternative, le nombre d'enroulements triphasés en entrée et en sortie du transformateur.
- c) Plage de fréquence assignée, si celle-ci est variable.
- d) Plage de tension assignée, si celle-ci est variable.
- e) Symbole de couplage, ou déphasage en degré.

8.2.2.5 Exigences relatives à la température ambiante

Exigences de température selon la CEI 60146-1-3:

- ambiante: 40 °C
- moyenne quotidienne: 30 °C
- moyenne annuelle: 25 °C

8.2.3 Impédances

8.2.3.1 Généralités

Les impédances d'entrée des transformateurs doivent être coordonnées relativement aux exigences concernant les émissions harmoniques et les courants de défaut, les valeurs typiques d'impédance sont dans la fourchette de 6 % à 12 % (souvent conformément à la CEI 60076).

8.2.3.2 Réactance de commutation

La réactance de commutation est un paramètre important pour les convertisseurs à commutation assistée par le réseau. Les méthodes de mesure des réactances de commutation sont données en 5.1.1 de la CEI 60146-1-3.

8.2.3.3 Impédance pour des convertisseurs autocommutés

La réactance de commutation est de moindre importance en ce qui concerne les performances des convertisseurs autocommutés. En revanche, l'impédance des transformateurs peut être importante pour limiter les courants harmoniques ou pour limiter les courants de défaut. Dans le cas des convertisseurs autocommutés, usuellement l'impédance est prise égale à l'impédance de court-circuit telle que mesurée dans les essais normalisés des transformateurs. Voir 10.4 de la CEI 60076-1. La mesure de l'impédance de court-circuit à la fréquence à laquelle on s'intéresse peut aussi être judicieuse.

For cancellation of higher harmonics, a 15° phase shift is used with extended delta or zigzag windings. In such cases, it is the 11th harmonic that is of most interest and a 2° phase error has a much higher impact.

The resulting phase error should be kept below 2° of fundamental period for a 12 pulse transformer, including phase error of the transformer windings and eventually the thyristor control system.

8.2.2.4 Rating plate requirements

The following requirements are based on the requirements of 7.1 of IEC 60076-1. The information listed is to be provided in addition to the rating plate data of 7.1 of IEC 60076-1.

- a) Type of transformer (for example, converter supply transformer, converter output auto-transformer, etc.) as description of the function of the transformer in the PDS.
- b) Number of phases on input and output. Alternatively, the number of three-phase windings on input and output of the transformer.
- c) Rated frequency range, if variable.
- d) Rated voltage range, if variable.
- e) Connection symbol, or phase offsets listed in degrees.

8.2.2.5 Ambient requirements

Temperature requirements according to IEC 60146-1-3:

- ambient: 40 °C
- daily average: 30 °C
- yearly average: 25 °C

8.2.3 Impedances

8.2.3.1 General

The input transformer impedances shall be coordinated in regard to harmonic emission and fault current requirements, typically the impedance is in the 6 % to 12 % range (often according to IEC 60076).

8.2.3.2 Commutating reactance

Commutating reactance is an important parameter for line commutated converters. Measurement methods for commutating reactance are given in 5.1.1 of IEC 60146-1-3.

8.2.3.3 Impedance with self-commutated converters

Commutating reactance has less impact on the performance of self-commutated converters. However, transformer impedance may be important to limit harmonic currents or fault currents. For self-commutated converters, the impedance is usually taken to be the short-circuit transformer impedance measured in standard transformer tests. See 10.4 of IEC 60076-1. Measuring the short-circuit impedance at the frequency of interest may also be advisable.

8.2.4 Tension de mode commun et tension continue

8.2.4.1 Généralités

Toutes conditions de fonctionnement d'un convertisseur de puissance, qui peuvent faire apparaître des conditions de tension inhabituelles sur les enroulements du transformateur, doivent être identifiées par le fournisseur du transformateur. Certains types de convertisseurs peuvent imposer des décalages de tension sur le transformateur en entrée ou sur le transformateur en sortie. On cite deux problèmes usuels dont l'origine est dans le décalage des tensions:

- accroissement des contraintes d'isolement dû aux tensions de mode commun;
- saturation du circuit magnétique due à la tension continue ou au courant magnétisant.

8.2.4.2 Contraintes d'isolement dues aux tensions de mode commun

Le décalage en tension entre le point neutre des bobinages raccordé au convertisseur et la terre, en fonction des commutations du convertisseur, est le mécanisme le plus courant d'accroissement des contraintes d'isolement. Cette tension de mode commun impose à l'isolement du transformateur des contraintes supérieures aux contraintes normales. Il est souhaitable de prendre en compte la tension de mode commun dans la spécification du niveau d'isolement du transformateur, soit en spécifiant explicitement la valeur de la tension de mode commun (méthode préférée) ou en spécifiant le niveau d'isolement adéquat pour l'enroulement concerné.

Il convient d'examiner également dans la spécification le niveau de tension d'isolement nécessaire en raison des contraintes supplémentaires de tension dues au temps de montée court et aux réflexions de tension (concernant le câble de puissance).

8.2.4.3 Saturation du circuit magnétique due à la composante continue

Les convertisseurs peuvent créer des tensions ou des courants susceptibles d'entraîner la saturation du circuit magnétique des transformateurs qui y sont raccordés. Le concepteur du transformateur doit être informé de la valeur de la tension continue ou du courant continu qui peut être imposée au transformateur de façon à ce que la conception puisse être faite en vue d'un fonctionnement approprié. Des circuits magnétiques à faible densité de flux ou à entrefer peuvent être nécessaires.

L'addition de la composante de tension continue de chaque convertisseur doit être examinée dans le cas de convertisseurs couplés en série.

8.2.5 Exigences spécifiques

8.2.5.1 Systèmes de refroidissement

Selon la CEI 60076-1 et la CEI 60726.

8.2.5.2 Exigences de bruit

On peut s'attendre à un niveau de bruit émis accru en raison des courants et tensions non sinusoïdaux.

Il convient que le constructeur du transformateur, le fournisseur du système et l'acheteur, s'accordent sur le niveau d'émission de bruit et les mesures de réduction nécessaires. Sauf spécification contraire, il convient d'adopter les méthodes de mesure des bruits des transformateurs conformément à la CEI 60076-1.

8.2.4 Common mode and d.c. voltages

8.2.4.1 General

Any operating condition of a power converter that can place unusual voltage conditions on the transformer windings shall be identified by the transformer supplier. Some types of converters can impose voltage offsets on input or output transformers. Two common problems caused by voltage offsets are:

- increased insulation stress due to common mode voltages;
- core saturation due to d.c. voltage or d.c. current magnetization.

8.2.4.2 Insulation stress due to common mode voltages

The most common mechanism for increased insulation stress is for the neutral of the winding connected to the converter to be offset from the ground, as the switches in the converter are gated. This common mode voltage will impose a higher than normal stress on the transformer insulation. The common mode voltage should be taken into account in specifying the insulation level of the transformer, either by specifying the common mode voltage explicitly (preferred) or by specifying the appropriate insulation level for the affected winding.

Additional voltage stresses due to fast voltage rise time and voltage reflections (including power cable) should be considered too in the specification of the needed insulation voltage level.

8.2.4.3 Core saturation due to d.c. components

Converters can create voltages or currents that can lead to saturation of a connected transformer core, either at the input or the output. The transformer designer shall be informed of the amount of d.c. voltage or d.c. current that may be imposed on the transformer so that the design can be made to operate appropriately. Low flux density core designs and gapped cores may be necessary.

In the case of series coupled converters, the addition of d.c. offset voltage of each converter should be considered.

8.2.5 Specific requirements

8.2.5.1 Cooling systems

According to IEC 60076-1 and IEC 60726.

8.2.5.2 Noise requirements

Due to non-sinusoidal currents and voltages, an increased level of noise emission is to be expected.

Limitations for noise emission levels and eventually necessary secondary noise reduction measures have to be specified and agreed upon between transformer manufacturer, system supplier and customer. Unless otherwise specified, measurement methods for transformer noise emission should be in accordance with IEC 60076-1.

8.2.5.3 Précision de tension

Selon la CEI 60076.

8.2.5.4 Ponts raccordés en parallèle

Une attention particulière doit être prêtée aux ponts raccordés en parallèle (précision de la tension à vide, déphasage, impédance de court-circuit de chaque bobinage secondaire).

8.2.5.5 Ecran entre bobinages primaire et secondaire

Un écran électrostatique est recommandé pour éviter le transfert des transitoires haute tension sur le secondaire par le couplage capacitif. L'écran a également un effet de CEM sur l'impédance de mode commun qui intervient pour les perturbations conduites. Il convient que l'inductance de la connexion de l'écran à la terre soit faible pour ces deux raisons.

8.2.5.6 Exigences de court-circuit

La possibilité de court-circuit sur les transformateurs est plus importante en présence de convertisseurs qu'avec des charges normales. Le concepteur doit comprendre le risque de court-circuit dans le convertisseur de fréquence et concevoir le transformateur pour le courant de court-circuit approprié et la fréquence d'apparition.

8.3 Convertisseur et contrôles associés

8.3.1 Objet

L'objectif est de traiter des exigences et des performances du convertisseur qui est une partie de l'entraînement. Il comprend la section convertisseur (qui peut inclure des filtres d'entrée et de sortie), le contrôle du convertisseur, les protections et auxiliaires. En général, il est fait référence à la CEI 60146.

8.3.2 Exigences de conception

8.3.2.1 Degré de protection

La classe de protection doit être définie selon la CEI 60529.

8.3.2.2 Environnements corrosifs

Il est souhaitable de prendre des mesures adéquates en cas de dépassement du degré de pollution 2, pour s'assurer que l'environnement du convertisseur reste non corrosif. Il convient de maintenir une surpression d'air propre dans l'environnement du convertisseur ou d'utiliser des tampons nettoyeurs.

8.3.2.3 Refroidissement

8.3.2.3.1 Généralités

Le refroidissement à air forcé, à liquide dé-ionisé et à évaporation sont les trois modes usuels de refroidissement. La redondance est recommandée dans le cas des applications critiques. Le constructeur du convertisseur a la responsabilité de concevoir le système de refroidissement d'une manière appropriée en tenant compte des tensions de travail, des courants et du cycle de charge.

8.3.2.3.2 Refroidissement à air

L'air de refroidissement doit être filtré si celui-ci contient des particules susceptibles d'endommager les canaux de refroidissement du convertisseur.

8.2.5.3 Voltage accuracy

According to IEC 60076.

8.2.5.4 Parallel connection of bridges

Special attention shall be given in case of parallel connection of bridges (accuracy of no-load voltages, phase shift, short-circuit impedance of each secondary winding).

8.2.5.5 Shielding between primary and secondary winding

An electrostatic shield is recommended in order to prevent high voltage transients being transferred to the secondary due to capacitive coupling. The shield also has an EMC effect on the common mode impedance for conducted disturbances. For both reasons, the inductance of the shield connection to earth should be low.

8.2.5.6 Short-circuit requirements

Converters make the possibility of short circuits on transformers more likely than in normal duty. The designer shall understand the risk of short circuit in the frequency converter and design the transformer for the appropriate short-circuit level and frequency of occurrence.

8.3 Converter and associated controls

8.3.1 Object

The object is to cover the performance and requirements of the converter, which is a part of the PDS. It consists of the converter section (which may include input and output filters), converter controls, protection and auxiliaries. Reference is made in general to IEC 60146.

8.3.2 Design requirements

8.3.2.1 Degree of protection

The protection class definition shall be according to IEC 60529.

8.3.2.2 Corrosive environments

If pollution degree 2 is exceeded, adequate measures should be taken to ensure that the converter environment remains non-corrosive. A positive pressure of clean air in the converter environment should be maintained or appropriate scrubbers should be used.

8.3.2.3 Cooling

8.3.2.3.1 General

The three common types of cooling are forced air, de-ionized liquid and evaporative cooling. Redundancy is recommended for critical applications. The converter manufacturer shall have the responsibility to adequately design the cooling system taking into the account the working voltages, currents, and duty cycle.

8.3.2.3.2 Air cooling

Air filtering shall be provided if the cooling air supply contains particles that could be damaging to the converter cooling paths.

8.3.2.3.3 Refroidissement liquide

Le liquide de refroidissement doit avoir une résistivité suffisamment grande de façon à limiter les courants de fuite à la terre et entre les différents potentiels des composants à une valeur non destructive et sûre dans le cas des convertisseurs à refroidissement liquide. La résistivité doit être contrôlée et conduire à une alarme ou à un déclenchement pour les valeurs basses ou très basses. Le contrôle du débit, du niveau du réservoir et de la température de l'eau est fortement recommandé pour assurer une protection adéquate. Il convient de prêter une attention toute particulière à la limitation des courants électrolytiques dus à l'utilisation de matériaux non homogènes, par exemple l'aluminium et le cuivre ne doivent pas être utilisés dans le même circuit de refroidissement.

8.3.2.4 Bruit acoustique

Sauf accord contraire entre le fournisseur du système et l'acheteur, le niveau de bruit mesuré à 1 m doit être inférieur à 85 dBA. La conformité à des règles locales plus strictes doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur du système et l'acheteur.

8.3.2.5 Connexions de puissance

Toutes les connexions de puissance doivent être fournies avec un espace de travail approprié et les supports mécaniques nécessaires au soulagement des contraintes. Lorsque l'on utilise des câbles de puissance blindés, des points de connexions des blindages à la terre doivent être fournis au voisinage des connexions de puissance.

8.3.2.6 Protections

Les protections du convertisseur doivent être conformes à 9.3.

Les accès doivent être marqués conformément à la CEI 60146-1-1.

Les plaques signalétiques doivent être conformes à la CEI 60146-1-1 et à la CEI 60146-2.

Le magasinage et le transport doivent être conformes à 5.2 et 5.3 en raison de la nature sensible du convertisseur. Le constructeur du convertisseur doit indiquer les instructions spéciales qui ne seraient pas déjà spécifiées.

8.4 Moteur

8.4.1 Introduction

Le concepteur du système doit s'assurer que, dans toutes les conditions de fonctionnement, les niveaux de contraintes ne dépassent pas les capacités de tenue du moteur, et il doit en établir les procédures de vérification.

Ce paragraphe traite des types de moteurs alternatifs les plus utilisés dans les systèmes d'entraînement de tension assignée supérieure à 1 kV. La construction des moteurs peut être de conception standard pour application générale, aussi bien qu'orientée vers des applications spéciales. Au-delà des conceptions usuelles de moteur, on tient compte également des nouvelles technologies, par exemple moteurs à aimants permanents ou autres solutions spéciales.

Dans ce domaine d'application, il existe un grand nombre de types de moteurs différents. Les principaux sont les moteurs à induction et les moteurs synchrones. Ils comportent typiquement trois ou six phases. Le nombre de phases est principalement un multiple de trois.

Les exigences relatives aux moteurs usuels sont données dans la norme appropriée de la CEI 60034. Ce paragraphe traite des aspects concernant l'intégration et l'interfaçage du moteur dans l'ensemble d'entraînement.

8.3.2.3.3 Liquid cooling

In the case of liquid cooled converters, the cooling media shall have a sufficiently high resistivity to limit the leakage current to ground and between different potentials of components to a safe and non-destructive level. The resistivity shall be monitored and result in an alarm or trip for low and very low resistivity. Monitoring of flow, reservoir level and water temperature is highly recommended to provide adequate protection. Special care should be exercised to limit electrolytic currents due to material mismatches, for example aluminum and copper shall not be used in the same cooling circuit.

8.3.2.4 Acoustic noise

The noise level measured at 1 m shall be below 85 dBA, unless otherwise agreed between customer and manufacturer. Compliance to more stringent local regulations shall be agreed upon between the system supplier and customer.

8.3.2.5 Power connections

All power connections shall be provided with adequate working area and mechanical stress relief support points shall be provided. Shield ground connection points shall be provided in the vicinity of power connections when shielded cable is used.

8.3.2.6 Protections

Converter protection shall be according to 9.3.

Main power terminals shall be clearly marked in accordance with IEC 60146-1-1.

Rating plates shall be according to IEC 60146-1-1 and IEC 60146-2.

Storage and transportation shall be according to 5.2 and 5.3 due to the delicate nature of the converters. The converter manufacturer shall supply special instructions outside those specified.

8.4 Motor

8.4.1 Introduction

The system designer shall ensure, that in all practical conditions of operation, the stress level does not exceed the motor withstand capability, and establish agreement on the verification procedure.

The most common a.c. motors used in PDS above 1 kV are covered in this subclause. Motor construction can consist of general purpose standard design as well as special application orientated. In addition to standard motor designs, new technologies, for example permanent magnet motors and other special solutions are also considered.

In this field of application, many different types of motors exist. Most are induction and synchronous motors. The number of phases are typically three or six. Most of them are triple multiple phase numbers.

Requirements for commonly used motors are covered in the relevant product standard of IEC 60034. This subclause considers the integration and interfacing of the motor as a part of the PDS.

8.4.2 Exigences de conception

Sauf spécification contraire, l'enveloppe doit être conforme à la CEI 60034-5.

Sauf spécification contraire, le refroidissement doit être conforme à la CEI 60034-6.

Sauf spécification contraire, le montage doit être conforme à la CEI 60034-7.

Il est nécessaire de prêter une attention particulière au transfert de chaleur qui est dépendant de la vitesse de rotation sur les moteurs auto-ventilés et aux pertes supplémentaires dues aux harmoniques dans les moteurs alimentés par convertisseur (voir la CEI 60034-17).

Sauf spécification contraire, il convient que la température ambiante, la température du fluide de refroidissement, la classe thermique et l'échauffement du système d'isolement des bobinages alimentés par un convertisseur, soient conformes à la CEI 60034-1.

8.4.3 Exigences de performance

Les caractéristiques de fonctionnement en alimentation normale par un convertisseur sont définies en 6.2.2 et 6.4.2.

Il peut être demandé d'assurer le fonctionnement occasionnel d'un moteur triphasé en couplage direct au réseau ou au secondaire du transformateur (voir 4.4). On peut également imaginer le fonctionnement avec utilisation partielle des enroulements, dans le cas d'un système comprenant un nombre multiple de bobinages triphasés.

Les performances et les conditions de dimensionnement du fonctionnement en couplage direct doivent être clairement définies par l'acheteur, particulièrement en ce qui concerne:

- les performances nécessaires de démarrage;
- le couple assigné différent qui en résulte.

8.4.4 Exigences concernant l'intégration mécanique du système

8.4.4.1 Protection contre les tensions d'arbre destructives ou les courants de palier

Sauf accord contraire entre le fournisseur du système et l'acheteur, il convient que le moteur soit fourni avec un palier isolé du côté opposé au bout d'arbre.

En plus des pratiques de mise à la terre (voir 9.2.3), d'autres mesures préventives peuvent être nécessaires (voir 9.2.4.6). C'est particulièrement le cas lorsque des composantes haute fréquence sont présentes dans la tension moteur, y compris pour la tension de mode commun dont le convertisseur est à l'origine.

8.4.4.2 Emission de bruit acoustique

Par comparaison au fonctionnement en alimentation directe par le réseau, l'alimentation par un convertisseur conduit à une émission de bruit acoustique plus importante (voir la CEI 60034-17). Le constructeur du moteur doit donner la valeur des émissions acoustiques prévues lorsque, dans l'utilisation envisagée, le moteur est alimenté par un convertisseur.

La limitation du niveau d'émission acoustique et les mesures de réduction correspondantes nécessaires doivent être spécifiées et faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur. Sauf spécifications contraires, il est souhaitable que la méthode de mesure de l'émission acoustique soit conforme à la CEI 60034-9.

8.4.2 Design requirements

Unless otherwise specified, the envelope shall be in accordance with IEC 60034-5.

Unless otherwise specified, the cooling system shall be in accordance with IEC 60034-6.

Unless otherwise specified, mounting shall be in accordance with IEC 60034-7.

Special attention is required because the speed dependency on heat transfer of self-ventilated cooling systems and additional harmonic losses in inverter fed motor operation (see IEC 60034-17).

Unless otherwise specified, ambient and cooling temperatures, thermal class and temperature rise of the motor winding insulation system in inverter fed conditions should be in accordance with IEC 60034-1.

8.4.3 Performance requirements

The operating characteristics under normal converter fed operation are defined in 6.2.2 and 6.4.2.

In the case of 3-phase motors, occasionally a direct bypass operation to the line-side or transformer secondary side may be required (see 4.4). A motor partial-winding operation in the case of a winding system with a multiple of 3 phases is also conceivable.

Performance and rating conditions for such a bypass operation shall be clearly defined by the customer, especially for:

- necessary starting performance;
- eventually different rated torque.

8.4.4 Mechanical system integration requirements

8.4.4.1 Protection against destructive shaft voltages or bearing currents

Unless otherwise agreed upon between the system supplier and the customer, the motor should be supplied with bearing insulation at the non-driven end.

In addition to the recommended earthing practice (see 9.2.3), other preventive measures may be necessary (see 9.2.4.6). They are especially needed when high frequency components exist in the motor voltage, including common mode voltages, caused by the converter.

8.4.4.2 Acoustic noise emission

Compared to line fed operation, converter feeding of the motor leads to increased noise emission (see IEC 60034-17). The manufacturer of the motor shall give the expected value of noise when the motor is converter fed for the intended use.

Limitations for noise emission levels and eventually necessary secondary noise reduction measures have to be specified and agreed upon between system supplier and customer. Unless otherwise specified, the measurement methods for motor noise emission should be in accordance with IEC 60034-9.

8.4.4.3 Vibrations du moteur et résonance latérale

Sauf indication contraire, il convient de définir les limites de vibration autorisées et la méthode de mesure conformément à la CEI 60034-14.

Dans ce contexte, il convient de définir des limites claires de responsabilité faisant l'objet d'un accord entre le fournisseur des matériels entraînés, le constructeur du moteur, le fournisseur du système, relativement à la fixation correcte du moteur (fondations, alignement et couplage). Il convient de porter une attention particulière aux fréquences de résonances latérales de l'ensemble des matériels entraînés (Voir 9.4).

8.4.4.4 Pulsation de couple et torsion

La production électromagnétique de couple pulsateur par un moteur alimenté par un convertisseur résulte des tensions et courants harmoniques.

Les influences perturbatrices ou dangereuses, sur des éléments de la structure mécanique, telles qu'excitation des résonances de torsion entre le moteur et le matériel entraîné doivent être évitées en condition d'exploitation normale et en conditions de défaut.

Les analyses nécessaires et les actions correctives doivent être définies et coordonnées par le fournisseur du système et doivent être conduites lors de la conception en coopération étroite entre les experts du convertisseur, du moteur et du matériel entraîné (voir 9.4.2).

8.4.5 Contraintes de tension sur l'isolement des bobinages du moteur

8.4.5.1 Responsabilités

Le concepteur du système doit s'assurer que, dans toutes les conditions pratiques de fonctionnement, les contraintes de tension ne dépassent pas le niveau de tension admissible par l'isolement (voir 8.4.5.2 et 8.4.5.3). En conséquence, le concepteur du système est responsable de la spécification des niveaux de contraintes de tension aux bornes du moteur prenant en compte les réflexions de tension possibles qui dépendent de la topologie du convertisseur, du type de câble et de sa longueur, etc. Les paramètres pertinents relatifs aux contraintes d'isolement sont: la valeur crête du transitoire de tension, le temps de montée à la valeur crête, le taux de répétition, etc.

Le constructeur du moteur doit vérifier la tenue en tension en fonction de la spécification du fournisseur du système. Pour s'assurer qu'il n'y a pas de réduction de la durée de vie de l'isolement du moteur, les contraintes effectives dues au fonctionnement du convertisseur doivent être plus faibles que la tenue en tension de l'isolement des bobinages du moteur (voir 8.4.5.2 et 8.4.5.3).

8.4.5.2 Types de contraintes sur les enroulements et limites

Il existe trois types de contraintes de tension (voir figure 17).

8.4.4.3 Motor-vibrations and lateral resonance

Unless otherwise specified, the permitted limits of vibration severity and method of measurement should be as defined in IEC 60034-14.

In this context, clear responsibilities relating to a correct motor fastening (foundation, mechanical string alignment and coupling) between driven equipment supplier, motor-manufacturer and system supplier should be defined and agreed. Special attention should be given to the lateral resonance frequencies of the whole mechanical string (see 9.4).

8.4.4.4 Torque pulsations and torsion considerations

Torque pulsations are electromagnetically produced as a result of voltage and current harmonics in a converter fed motor .

Disturbing or dangerous influences on mechanical structure elements, such as excitation of torsion resonances of the motor and driven equipment, shall be avoided during normal operation and under fault conditions.

Necessary analyses and corrective actions have to be defined and managed by the system supplier and have to be undertaken in close cooperation between converter, motor and driven equipment experts (see 9.4.2), during the design process.

8.4.5 Voltage stress of the motor winding insulation system

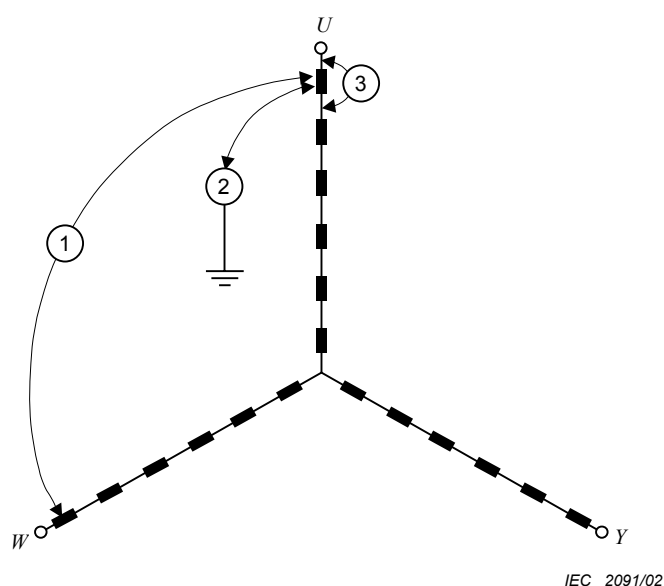
8.4.5.1 Responsibilities

The system designer shall ensure, that in all practical conditions of operation, the voltage stress level does not exceed the insulation system voltage stress capability (see 8.4.5.2 and 8.4.5.3). Therefore, the system designer is responsible for specifying the voltage stress level at the motor terminals, taking into account possible voltage reflection depending on the topology of the converter, cable type and length, etc. Relevant parameters for insulation stress are: transient peak voltage values, peak rise time, repetition rate, etc.

The motor manufacturer shall check the voltage stress withstand capability according to the system supplier's specification. To ensure that no service lifetime reduction of the motor insulation occurs, the actual stress due to converter operation shall be lower than the repetitive voltage stress withstand capability of the motor winding insulation system (see 8.4.5.2 and 8.4.5.3).

8.4.5.2 Types of winding stresses and limiting figures

Three different insulation stresses exist (see figure 17).



- ① isolement principal entre phases
- ② isolement principal entre phase et carcasse
- ③ isolement entre spires de la première bobine

Figure 17 – Types de contraintes d'isolement

Dans un moteur alimenté par le réseau (sinusoïdal basse fréquence), les isollements entre phases et entre phase et carcasse subissent les plus fortes contraintes. La contrainte sur l'isolement entre spires est relativement faible, cependant elle peut prendre une grande importance dans le cas des moteurs alimentés par un convertisseur, ce qui exige un examen particulier.

Dans un fonctionnement à alimentation par convertisseur, la tension n'est pas sinusoïdale. Typiquement, elle comporte des échelons de tension transitoires répétitifs dont l'origine est la commutation rapide des onduleurs en modulation de largeur d'impulsion (MLI), associée à des fréquences d'impulsion relativement élevées ou dont l'origine peut aussi être les encoches de commutation d'un onduleur à thyristors côté charge (voir A.2.5). Dans le cas de moteurs alimentés en MLI par un convertisseur en source de tension et par des câbles relativement longs, chaque échelon de tension transitoire conduit à des réflexions aux bornes du moteur et du convertisseur comprenant des oscillations et dépassements de tension typiques (figure 18).

t_a est le temps de montée de l'échelon de tension (phénomène de réflexion tel que mentionné inclus). La définition de t_a est donnée dans la CEI 60034-17 comme le temps nécessaire à la tension pour passer de 10 % à 90 % de l'amplitude totale de l'échelon de tension ΔU (voir figure 18).

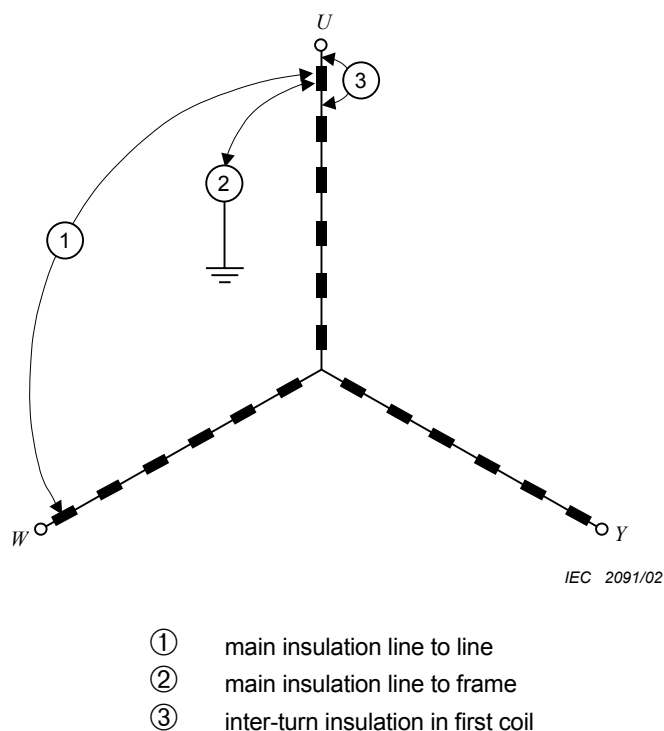


Figure 17 – Insulation stressing types

In line fed motors (sinusoidal, low frequency) the most occurs in the line to line and line to frame insulation. The electric stress of the inter-turn insulation is relatively low, however in the case of converter fed motors it can become very important and increased attention is necessary.

In a converter fed operation, the motor voltage is non-sinusoidal, typically with repeated transient voltage steps caused for example, by fast switching PWM-inverters with relatively high pulse frequencies or by load side commutation notches of a thyristor inverter (see A.2.5). In case of PWM voltage source inverter with motors fed via relatively long cables, each transient voltage step leads to reflections at the motor and the converter terminals with typically oscillating voltage overshoots (figure 18).

t_a is the peak rise time of the voltage step (including the mentioned reflection phenomena). Definition of t_a is given in IEC 60034-17 as the time for the voltage to change from 10 % to 90 % of the total transient voltage ΔU including overshoot (see figure 18).

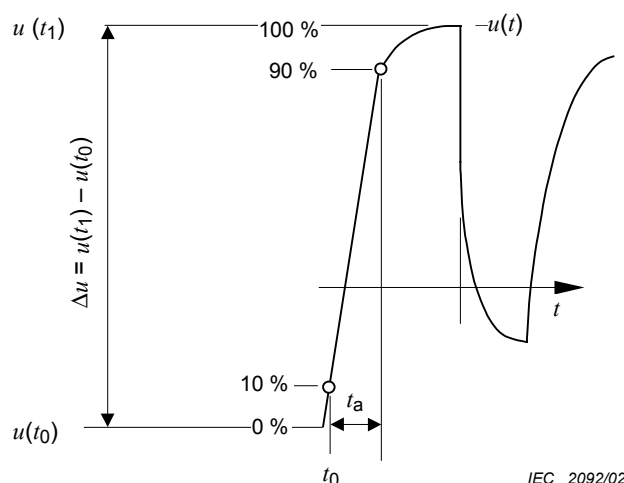
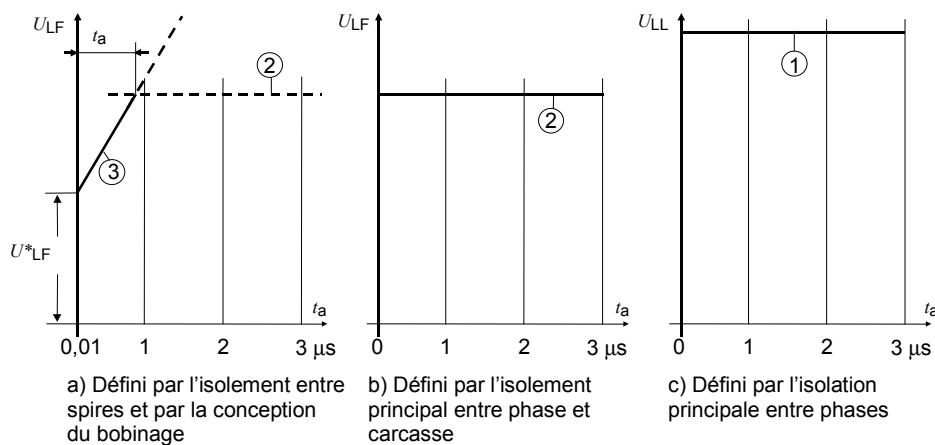


Figure 18 – Définition de la tension transitoire aux bornes du moteur

La tenue en tension aux contraintes de tension répétitives de l'isolement des bobinages, sans diminution du temps de service, peut être donnée par les limites représentées aux figures 19a, 19b et 19c. Ces limites concernent les tensions d'impulsions admissibles, avec réflexions de tension aux bornes du moteur incluses.



Les nombres de ces figures sont des références communes à la figure 17 et au tableau 7

IEC 2093/02

Figure 19 – Caractéristiques limites admissibles d'une impulsion de tension (y compris l'effet de réflexion et l'amortissement) aux bornes du moteur en fonction du temps de montée t_a

La figure 19 représente:

- les contraintes entre spires de type δ concernant les échelons de tension transitoire ΔU_{LF} avec des temps de montée de valeur crête typique $t_a \leq 1 \mu s$ (figure 19a);
- les différences de tension de type σ allant jusqu'à la tenue de tension principale entre phase et carcasse selon la figure 19b;
- les différences de tension de type α allant jusqu'à la tenue de tension principale entre phases selon la figure 19c.

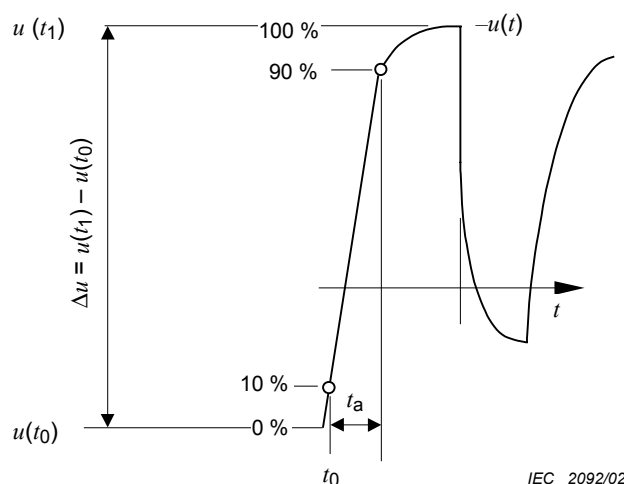
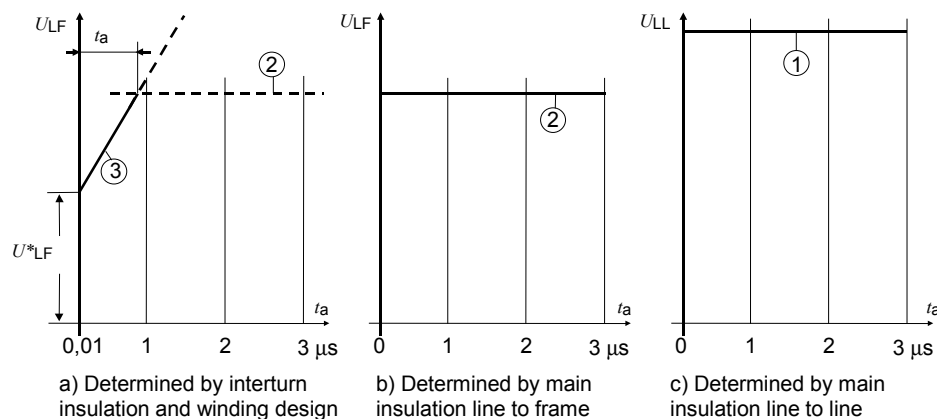


Figure 18 – Definition of the transient voltage at the terminals of the motor

The repetitive voltage stress withstand capability of the winding insulation system without service lifetime reduction can be described by the border lines given in figures 19a, 19b, and 19c. These borderlines refer to the admissible pulse voltage, including voltage reflections at the motor terminals.



The numbers in these figures are common references to figure 17 and to table 7

IEC 2093/02

Figure 19 – Admissible pulse voltage (including voltage reflection and damping) at the motor terminals as a function of the peak rise time t_a

Figure 19 represents:

- inter-turn stressing type δ relevant for transient voltage steps ΔU_{LF} with typical peak rise time $t_a \leq 1 \mu s$ (figure 19a);
- voltage differences up to the withstand capability of the main insulation according to figure 19b for line to frame stressing type σ ;
- voltage differences up to the withstand capability of the main insulation according to figure 19c for line to line stressing type α .

8.4.5.3 Tenue typique aux contraintes de tension des moteurs de conception usuelle

A partir des contraintes d'isolation définies pour le fonctionnement en alimentation par le réseau avec les tolérances de tension usuelles, la conception usuelle des moteurs haute tension conduit à une tenue en tension au moins égale aux valeurs de la colonne de droite du tableau 7. Ces formules sont proposées en tant que guide lorsque le constructeur du moteur ne délivre pas d'information complémentaire et sont des valeurs minimales. Des limites significativement supérieures sont souvent proposées.

Tableau 7 – Limites et types de contraintes

Types de contraintes	Tensions pertinentes – Valeur crête	Tenue des contraintes de tension d'un moteur triphasé
① Isolement principal entre phases	U_{LL} tension entre phases	$U_{LL} = 1,1 U_{Ins} \sqrt{2} \approx 1,6 U_{Ins}$
② Isolement principal entre phase et carcasse	U_{LF} tension maximale phase carcasse	$U_{LF} = 1,1 U_{Ins} \sqrt{2/3} \approx 0,9 U_{Ins}$
③ Isolement entre spires de la première bobine	ΔU_{LF} échelon de tension t_A temps de montée correspondant (voir figure 18)	ΔU_{LF} au moins 3 kV $t_a \approx 1 \mu s$ voir figure 19a

U_{Ins} est la valeur efficace de la tension assignée d'isolement du moteur.

NOTE 1 La «valeur assignée de la tension d'isolement» U_{Ins} (indiquée au tableau 7) n'est pas nécessairement égale à la «tension assignée du moteur» U_A donnée en 3.1.20.

NOTE 2 Dans le cas des moteurs alimentés par un convertisseur, il est souvent judicieux d'utiliser une conception de moteurs à isolement renforcé tels que $U_{Ins} > U_A$.

NOTE 3 Ainsi que le montre la figure 19a, l'isolement entre spires de la première bobine introduit la limitation des échelons transitoires de tension possibles ΔU_{LF} dans le cas des temps de montée relativement courts de la plage:

$$0,1 \mu s \leq t_A \leq 1 \mu s.$$

La limitation provient normalement de l'isolement principal pour $t_A > 1 \mu s$ (figures 19b et 19c).

NOTE 4 Du fait que la commutation des interrupteurs à semi-conducteur de chaque phase intervient à n'importe quel instant, la tension entre phases et la tension entre phase et carcasse correspondent au même échelon de tension $\Delta U_{LL} = \Delta U_{LF}$.

8.4.5.4 Evaluation fonctionnelle de l'isolement des enroulements du moteur

Il convient que les procédures d'essais de l'isolement des enroulements appliquées aux moteurs de tension assignée supérieure à 1 000 V soient conformes à la CEI 60034-18-31. Une attention particulière est nécessaire en raison des facteurs de contraintes supplémentaires résultant de l'alimentation par un convertisseur, c'est-à-dire des contraintes de tension accrues et des taux de répétition de fréquence élevée, des échauffements supplémentaires résultant des pertes harmoniques (voir 11.2.4.4) et des vibrations mécaniques (voir 9.4).

8.4.5.3 Typical voltage stresses capability of motors with usual design

Deriving from the insulation stress at line operation with usual voltage tolerances, the usual design of high voltage motors gives at least a withstand capability indicated in the right column of table 7. These formulae are given for guidance, if no further information is available from the motor manufacturer and represent minimum values. Significant higher voltage limitations are often proposed.

Table 7 – Limiting parts and typical voltage stress capability of the motor insulation system

Limiting part of Insulation system	Relevant peak voltage value	Voltage stress capability of 3-phase motors
① Main insulation, phase to phase	U_{LL} line to line - voltage difference	$U_{LL} = 1,1 U_{Ins} \sqrt{2} \approx 1,6 U_{Ins}$
② Main insulation phase to frame	U_{LF} line to frame max. voltage difference	$U_{LF} = 1,1 U_{Ins} \sqrt{2/3} \approx 0,9 U_{Ins}$
③ Inter-turn insulation of first coil	ΔU_{LF} voltage step t_A associated peak rise time (see figure 18)	ΔU_{LF} at least 3 kV $t_a \approx 1 \mu s$ see figure 19a

U_{Ins} is the rated r.m.s. voltage value of motor insulation system.

NOTE 1 The “rated voltage of insulation system” U_{Ins} (shown in table 7) is not necessarily equal to the “rated motor voltage” U_A as given in 3.1.20.

NOTE 2 In the case of inverter fed motors, it is often appropriate to use a motor design with improved insulation systems having $U_{Ins} > U_A$ (motor) .

NOTE 3 As figure 19a shows, the inter-turn insulation of the first coil is the limiting part for permissible transient voltage steps ΔU_{LF} in case of relatively short peak rise times in the range

$$0,1 \mu s \leq t_A \leq 1 \mu s.$$

For $t_A > 1 \mu s$ the relevant limitations are normally given by the main insulation (figures 19 b and 19c).

NOTE 4 Because the switching of semiconductor elements in each phase occur at different times, the line to line voltage and the line to frame voltage have corresponding transient voltage steps $\Delta U_{LL} = \Delta U_{LF}$.

8.4.5.4 Functional evaluation of motor winding insulation systems

Test procedures for winding insulation systems used in motors of rated voltage above 1 000 V should be in accordance with IEC 60034-18-31. Special attention is required, because of the additional stress factors produced by the converter fed operation such as increased voltage stress and high frequency repetition rate, additional heating as a result of harmonic losses (see 11.2.4.4) and mechanical vibrations (see 9.4).

8.4.6 Dénomination des données essentielles

Les informations suivantes doivent être fournies en complément de la plaque signalétique du moteur:

- couple assigné;
- couple à la vitesse minimale;
- vitesse minimale au couple assigné;
- vitesse minimale;
- vitesse de base;
- vitesse maximale.

Les informations complémentaires suivantes sont nécessaires à une conception correcte du système et à l'installation du moteur, et doivent être fournies séparément, par exemple dans la documentation du produit:

- inertie du rotor et si demandé, raideur du rotor pour l'analyse de torsion conformément à 8.4.4.4 et 9.4;
- données complémentaires d'isolement, telles que tension assignée d'isolement V_{ins} conformément à 8.4.5.3 ou bien donnée correspondante concernant les contraintes de tension et tenues en tension;
- sens de rotation (si unidirectionnel);
- débit d'air et exigences d'environnement pour le système de refroidissement du moteur;
- impédances du moteur (si demandé);
- dimensions de montage;
- il convient que l'arbre, les dimensions et l'équilibrage soient conformes aux normes ISO/CEI, sauf spécification contraire l'équilibrage est assuré avec la demi clavette;
- masse du moteur (rotor, stator);
- instructions de transport, manutention, magasinage;
- instructions de sécurité et de maintenance.

9 Exigences d'intégration du PDS

9.1 Conditions générales

9.1.1 Vue d'ensemble

En général, le PDS est constitué des sous-systèmes principaux suivants:

- transformateur;
- section convertisseur;
- contrôle et protection;
- moteur électrique;
- filtres harmoniques (si nécessaire).

8.4.6 Designation of essential data

The following information shall be supplied in addition to the normal rating plate of the motor:

- rated torque;
- torque at minimum speed;
- lowest speed at rated torque;
- minimum speed;
- base speed;
- maximum speed.

The following additional information is necessary for a proper system design and installation of the motor, and shall be supplied separately, for example in the product documentation:

- rotor moment of inertia and if required, motor shaft stiffness for torsion investigations according to 8.4.4.4 and 9.4;
- additional insulation system data such as rated voltage V_{ins} in accordance with 8.4.5.3 or alternative information about voltage stress, and withstand capability;
- direction of rotation, and limit if any;
- air flow and surrounding requirements for motor cooling system;
- motor impedances (if required);
- relevant mounting dimensions;
- the shaft, the dimensions and the balancing should be in accordance with ISO/IEC, unless otherwise specified, “half key balancing” is relevant;
- mass of motor (rotor, stator);
- instructions for transportation, handling and storage;
- safety and maintenance instructions.

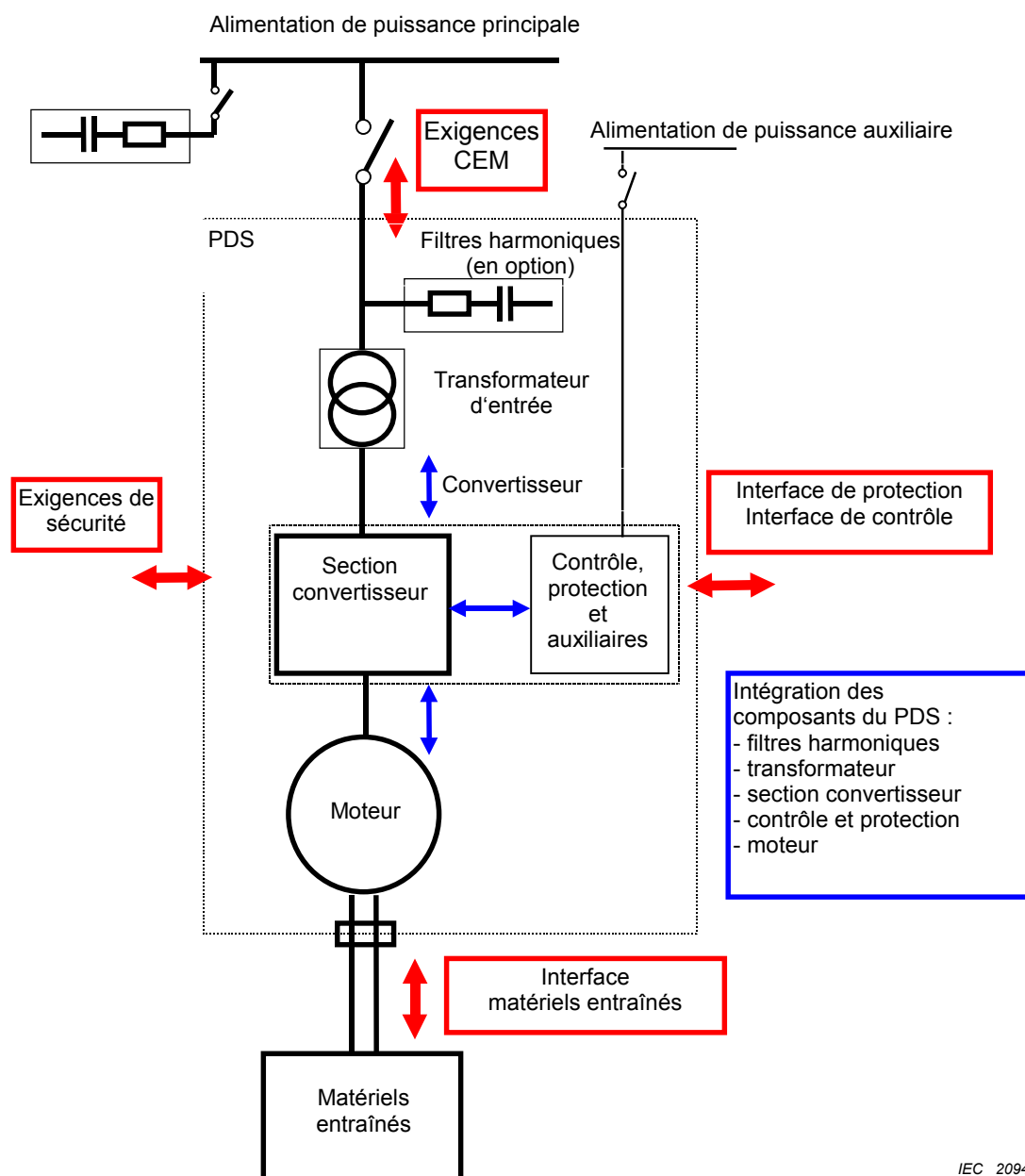
9 PDS integration requirements

9.1 General conditions

9.1.1 Overview

In general, the PDS consists of the following main subsystems:

- transformer;
- converter section;
- control and protection;
- motor;
- harmonic filters (if needed).



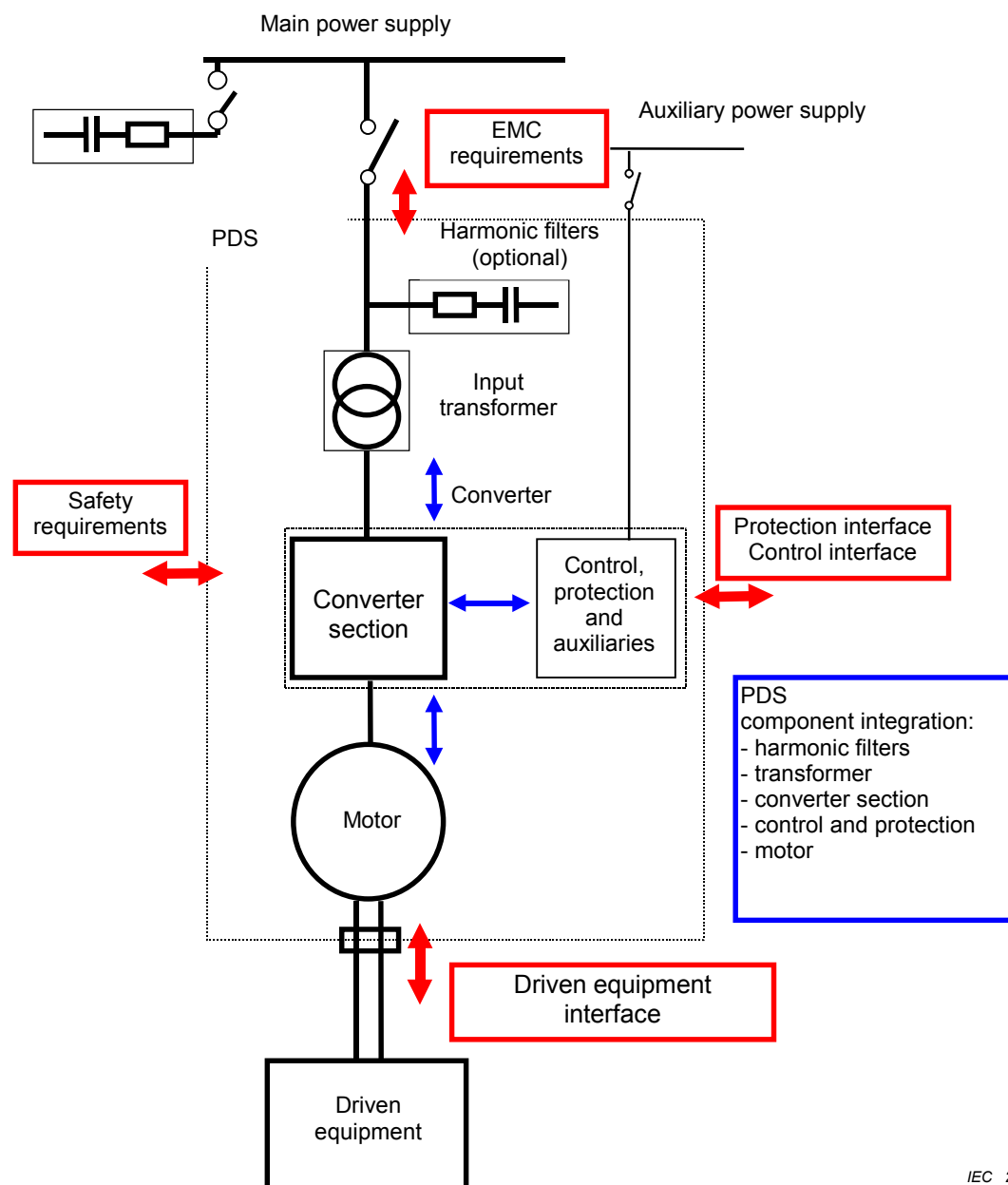
IEC 2094/02

Figure 20 – Entraînement de puissance (PDS) de tension supérieure à 1 000 V

9.1.2 Interactions entres composants de l'entraînement

L'installation de l'entraînement comprenant ses composants principaux, à l'endroit où il est prévu de l'utiliser, nécessite un certain savoir-faire concernant à la fois le fonctionnement de l'entraînement lui-même et les interactions avec l'environnement local. Il convient de prêter une attention particulière à l'intégration des entraînements de tension alternative supérieure à 1 kV, particulièrement en ce qui concerne les interactions avec:

- le réseau d'alimentation de puissance;
- le disjoncteur principal;
- les câbles de puissance principaux;
- la compatibilité électromagnétique en immunité et en émission;
- le génie civil;



IEC 2094/02

Figure 20 – Power drive system (PDS) – voltage above 1 000 V

9.1.2 Interactions between drive components

The installation of the PDS, consisting of its main components, in the location where it is intended to be used, requires a certain amount of know-how regarding both the correct operation of the PDS itself, and the interaction within its local environment. For a PDS whose voltage exceeds 1 kV a.c., special attention should be paid to the integration into the environment, in particular:

- the main power supply;
- the main breaker;
- the main power cables;
- the EMC immunity and emissions;
- the civil installation;

- le matériel entraîné;
- l'alimentation de puissance des auxiliaires;
- le contrôle du procédé associé.

A l'intérieur de l'entraînement, l'attention doit porter sur les interfaces et couplages entre les différents sous-systèmes concernant:

- le dimensionnement du système;
- les exigences de sécurité;
- la CEM conformément à des exigences internes et à la CEI 61800-3;
- les éventuelles interactions de sous-systèmes.

Le fournisseur du système doit donner toute information nécessaire pour réaliser une installation et un câblage corrects de l'équipement. Les exigences générales concernant l'intégration du PDS sont citées dans les paragraphes suivants.

9.1.3 Informations à échanger

Le fournisseur du système doit fournir la documentation nécessaire à une installation correcte du PDS par l'acheteur dans un système ou procédé typique. L'acheteur et le fournisseur du système doivent convenir, dans une étape préliminaire, des mesures qui doivent éventuellement être prises pour satisfaire aux exigences de CEM de l'environnement particulier.

Les informations suivantes doivent être disponibles pour le fournisseur du système:

- impédance du réseau et structure (banc de condensateur existant, filtre, etc.);
- longueur des câbles haute tension;
- données de CEM (distorsion effective du réseau);
- conditions et spécifications de mise à la terre;
- données sur le matériel entraîné;
- exigences de sécurité conformément aux règlements locaux, par exemple code des couleurs.

- the driven machine;
- the auxiliary power supply;
- the main process control.

Within the PDS, special attention shall be paid to the interfaces and interference of the different subsystems in regard to:

- the system dimensioning;
- the safety requirements;
- the EMC according to internal requirements and IEC 61800-3;
- the possible interaction of subsystems.

The system supplier shall give all necessary information for the correct installation and cabling of the equipment. The general requirements for the integration of PDS are stated in the following subclauses.

9.1.3 Information to be exchanged

The system supplier shall give the necessary documentation for the customer of a PDS to allow the correct installation into a typical system or process. The customer and the system supplier shall agree at an early stage, if special measures have to be taken to achieve compliance with the EMC requirements of the dedicated environment.

The following information shall be made available to the system supplier:

- network impedance and structure (existing capacitor banks, filters, etc.);
- high voltage cable lengths;
- EMC information (actual distortion of the network);
- earthing conditions and specifications;
- information on driven equipment;
- safety requirements according to local regulations, for example colour coding.

9.2 Intégration des composants de tension supérieure à 1 000 V

9.2.1 Vue d'ensemble

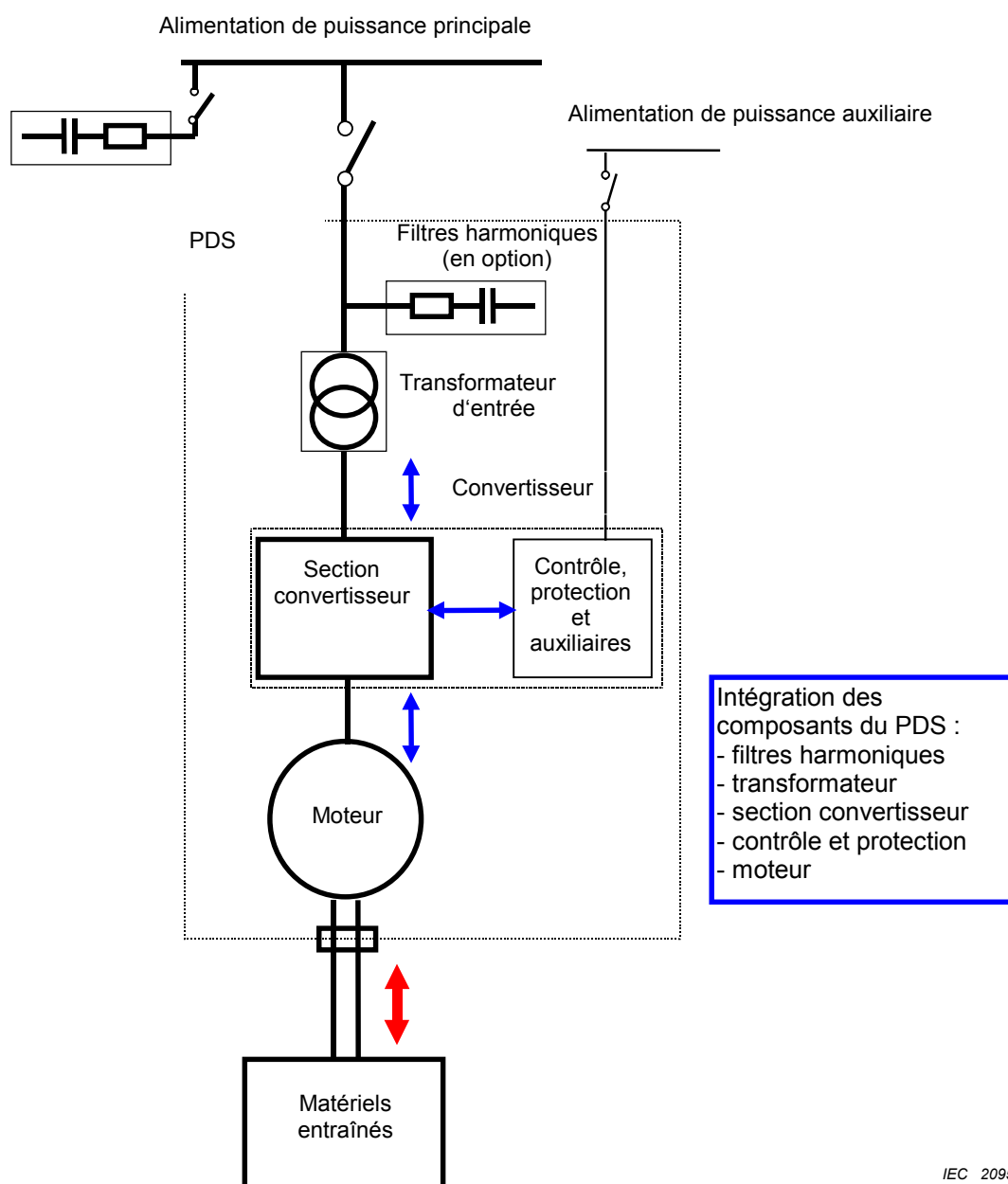


Figure 21 – Intégration du PDS

9.2.2 Intégration du transformateur

Des limitations de surtension complémentaire doivent être fournies pour le transformateur de puissance principal (par exemple absorption d'énergie transitoire).

L'énergie des régimes transitoires non répétitifs due aux commutations à vide du transformateur principal qui alimente l'ensemble convertisseur est liée à l'énergie magnétisante du transformateur E . Avec l'hypothèse d'un courant sinusoïdal, l'énergie emmagasinée dans la réactance de magnétisation du transformateur peut être calculée par l'équation:

$$E = \frac{i_{\text{mpu}}}{4 \times \pi \times f_{\text{LN}}} \times S_{\text{N}}$$

9.2 Integration of components with voltages above 1 000 V

9.2.1 Overview

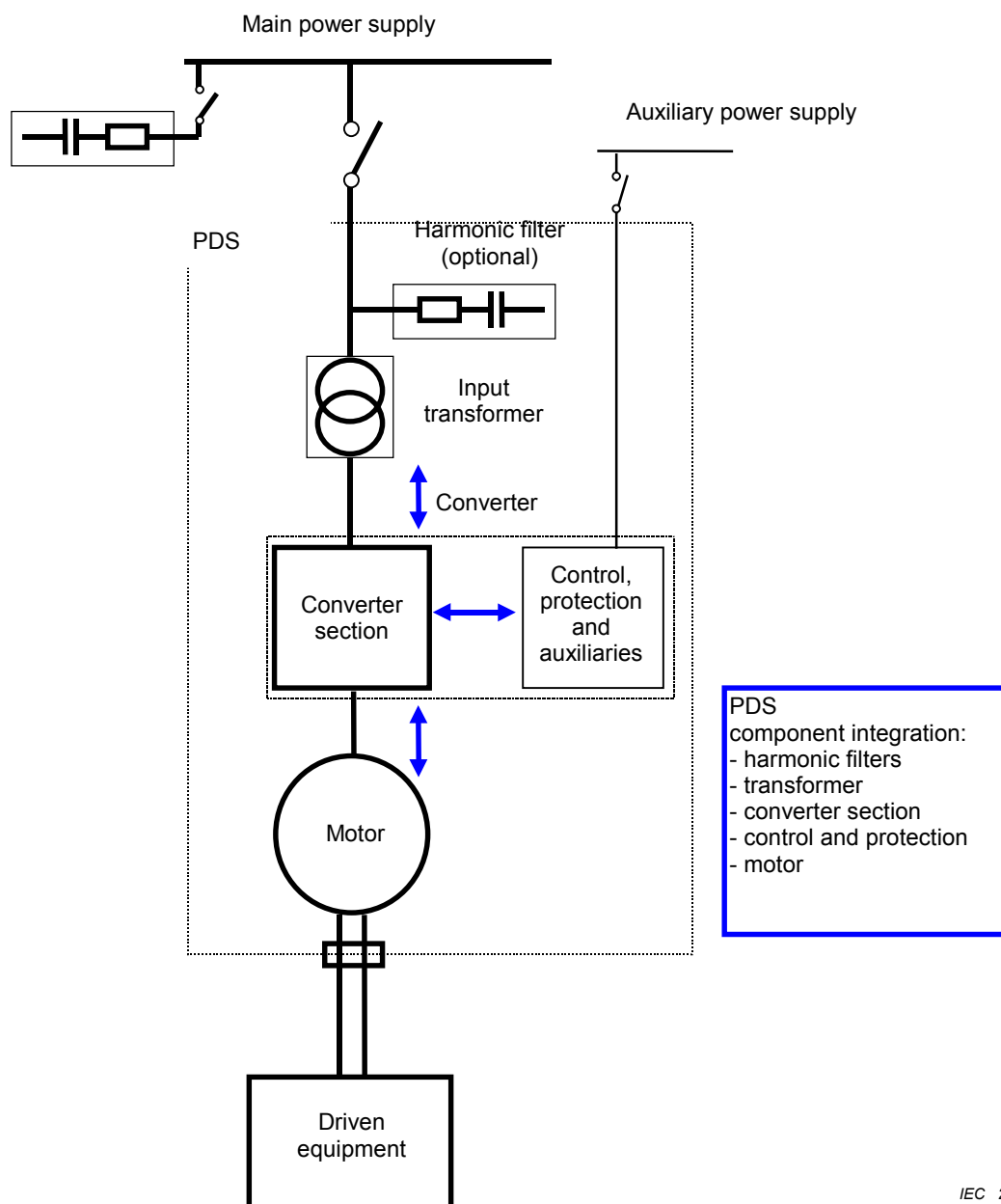


Figure 21 – PDS integration

9.2.2 Transformer integration

Additional overvoltage limitation shall be provided for main power supply transformers, (for example transient energy absorption as lightning arresters (LA)).

The energy of the non-repetitive transients caused by no-load switching of the main transformer feeding the converter assembly is related to the transformer magnetizing energy E . Under the assumption of a sinusoidal magnetizing current, the energy stored in the magnetizing impedance of the transformer can be calculated by the equation:

$$E = \frac{i_{\text{mpu}}}{4 \times \pi \times f_{\text{LN}}} \times S_{\text{N}}$$

où

i_{mpu} est le courant magnétisant, rapporté au courant assigné du transformateur (p.u.);

f_{LN} est la fréquence assignée (Hz);

S_{N} est la puissance apparente du transformateur (VA).

9.2.3 Exigences de mise à la terre

9.2.3.1 Liaison équipotentielle des composants principaux

Il est souhaitable que les dispositions de mise à la terre (mise à la terre, blindage) de l'entraînement tiennent compte:

- des contraintes de mode commun dues au choix du point de mise à la terre de l'entraînement de puissance;
- des considérations de CEM.

Il convient que le circuit de protection et la liaison équipotentielle (son interconnexion) entre les composants principaux soient considérés. Typiquement, il est aussi nécessaire de tenir compte des exigences locales. Il convient que les dispositions du circuit de protection fassent l'objet d'un accord entre le fournisseur du système et l'acheteur. Il est souhaitable que cela concerne la totalité de l'entraînement, comprenant:

- le transformateur;
- le convertisseur principal;
- le moteur.

Les points suivants sont des exemples importants:

- les matériaux du circuit de protection;
- les sections du conducteur de protection;
- les dispositions concernant la liaison équipotentielle.

Toutes les parties conductrices accessibles de l'entraînement doivent être connectées au conducteur d'équipotentialité (conducteur de liaison de protection). Là où le conducteur de protection ne peut pas être identifié simplement par sa forme, sa position ou sa construction, il doit être clairement identifié en des endroits accessibles par le symbole graphique CEI 60417-5019 (ou par la combinaison bicolore VERT/JAUNE).

Chaque composant principal est raccordé à la liaison équipotentielle existante installée par l'acheteur. En option, la liaison équipotentielle des composants principaux peut être améliorée par des interconnexions directes. Ce point doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur du système et l'acheteur.

Le cas des câbles de puissance est illustré par la figure 22.

where

- i_{mpu} is the magnetizing current, referred to the rated transformer current (p.u.);
 f_{LN} is the rated frequency (Hz);
 S_{N} is the apparent power of the transformer (VA).

9.2.3 Earthing requirements

9.2.3.1 Equipotential bonding of main components

The earthing concept (grounding, earthing, screening) of the drive system should take into account:

- common mode stresses due to the point of earthing of the PDS;
- EMC issues.

The protective bonding circuit and the equipotential bonding (its interconnection) between main components should be considered. Typically it is also necessary to take into account local requirements. The protective bonding concept should be agreed upon between system supplier and customer. It should cover the whole PDS, including:

- the transformer;
- the main converter;
- the motor.

The following items are important examples:

- the material of the protective bonding;
- the cross-sectional area of the protective bonding;
- the concept of equipotential bonding.

All exposed conductive parts of the PDS shall be connected to the equipotential bonding conductor (protective bonding conductor). Where the protective conductor cannot be easily identified by its shape, position or construction, it shall be clearly identified at accessible positions by the graphical symbol IEC 60417-5019 or by the GREEN-AND-YELLOW bicolor combination.

Each main component is connected to the existing equipotential bonding installed by the customer. Optionally, the equipotential bonding of the main components can be improved by direct interconnections. This has to be agreed upon between system supplier and customer.

The case of power cables is shown in figure 22.

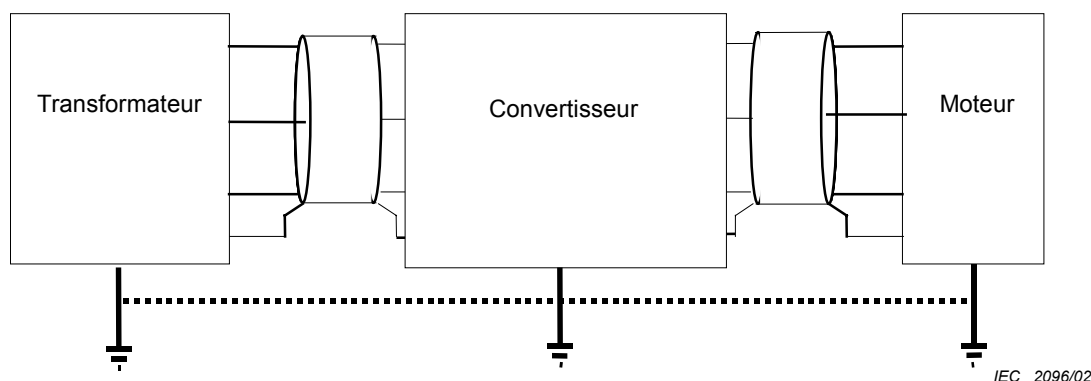


Figure 22 – Exemple de mise à la terre de protection et d'interconnexion des composants principaux

Si les deux extrémités de l'écran sont connectées au conducteur de protection, on doit vérifier la charge thermique de l'écran due au courant de circulation (essentiellement induit par voie magnétique). Cet aspect concerne également la sécurité et la CEM (voir la CEI 61800-3).

9.2.3.2 Mise à la terre de la partie puissance de l'entraînement

9.2.3.2.1 Mise à la terre

La mise à la terre de l'ensemble du système peut être faite en différents endroits. Il convient que le point de mise à la terre soit choisi en fonction de la nature du système: neutre d'un transformateur commun s'il existe, point milieu d'une boucle à courant continu commune, point étoile d'un quelconque filtre de sortie de convertisseur de fréquence ou point étoile du moteur.

L'impédance de terre peut être résistive, capacitive ou il peut s'agir d'une connexion directe. Il convient qu'elle soit raccordée à un conducteur de protection de mise à la terre. Pour des raisons de CEM, il est possible d'utiliser une liaison équipotentielle séparée.

Le point de mise à la terre et la topologie du PDS (avec ou sans filtre de sortie) définissent la contrainte d'isolement résultante (voir 8.2).

9.2.3.2.2 Conditions de défaut

Il est de la responsabilité du fournisseur de l'entraînement de spécifier les exigences spéciales dans les conditions de défaut (conformément à la CEI 60204-11) en ce qui concerne:

- les interconnexions nécessaires et leur section minimale entre les composants principaux (en fonction des courants élevés dans les conditions de défaut);
- les courants dans les écrans des câbles de puissance.

9.2.3.2.3 Courants de fuite

Ils sont dus aux résidus harmoniques haute fréquence des tensions de sortie du convertisseur de fréquence, y compris les tensions de mode commun, et aux capacités de fuite à la terre de l'ensemble des câbles, des bobinages du transformateur et des bobinages du moteur. Il convient donc de suivre la pratique établie et sûre concernant la mise à la terre des carcasses du transformateur et du moteur, et des armures ou écrans des câbles.

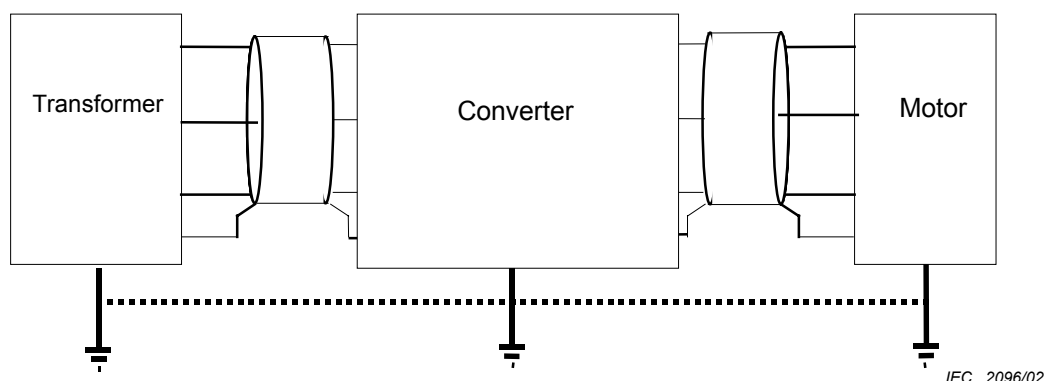


Figure 22 – Example of protective earthing and interconnection of main components

If both ends of the screen are connected to a protective bonding conductor, the thermal loading of the screen by circulating currents (mostly magnetically induced) shall be checked. This aspect is also relevant to safety and EMC (see IEC 61800-3).

9.2.3.2 Earthing of the electrical power part of a PDS

9.2.3.2.1 Earthing

Earthing of the PDS, as a whole system, may be made in different places. The location of the earthing shall be chosen according to the nature of the system: neutral of a common transformer if any, middle point of a common d.c. bus, the star point of any frequency converter output filter or the star point of the motor.

The earthing impedance may be resistive, capacitive or a direct connection. It should be connected to a protective earthing conductor. For EMC reasons, a separate equipotential bonding conductor may be used for connecting the protective bonding conductor of the PDS power part earthing.

The point and the type of earthing, together with the PDS topology (with or without output filter) defines the resulting insulation stress (see 8.2).

9.2.3.2.2 Fault conditions

It is within the responsibility of the system supplier to specify special requirements in any fault conditions (according to IEC 60204-11) concerning:

- necessary interconnections and their minimum cross-section between main components (due to high currents in fault conditions);
- shield currents of the power cables.

9.2.3.2.3 Leakage currents

They are due to the high frequency harmonic content of the output voltages of the frequency converter, including common mode voltages, and due to the stray capacitance to earth of the cabling system, the windings of the transformer and the windings of the motor. Established and safe earthing practice for the transformer frame, the motor frame and for cables armor or screens should therefore be followed.

9.2.4 Exigences d'isolement dues au fonctionnement du convertisseur

9.2.4.1 Contraintes spécifiques

Les contraintes de tension à la terre, appliquées aux différents équipements, sont fonction du choix du point de mise à la terre de l'entraînement.

Une attention particulière est nécessaire dans le cas des commutations à haute fréquence et temps de montée court. Dans de tels cas, des réflexions de tension apparaissent sur les câbles de puissance typiques. Ces réflexions de tension sont la cause de contraintes de tension supplémentaires sur tous les composants de puissance connectés.

Il est de la responsabilité du fournisseur de l'entraînement de spécifier les contraintes d'isolement typiques, prenant en compte:

- le point de mise à la terre de l'entraînement et l'impédance correspondante;
- les contraintes de mode commun;
- les réflexions de tension;
- les conditions de défaut;
- les parties de puissance principale de l'entraînement: bobinage du transformateur, convertisseur, câbles de puissance, bobinage du moteur et palier du moteur, ainsi que la mise à la terre de l'arbre moteur.

9.2.4.2 Bobinages du transformateur

Ils doivent être définis en fonction des contraintes d'isolement calculées (valeur de crête, mode commun, temps de montée, fréquence des impulsions, réflexion) en fonction de la topologie de l'entraînement et du point de mise à la terre.

Il convient que ces valeurs soient incluses dans la spécification du transformateur établie par le concepteur de l'entraînement.

9.2.4.3 Convertisseur

Les convertisseurs doivent être définis en fonction des contraintes d'isolement calculées (valeur de crête, mode commun, temps de montée, fréquence des impulsions, réflexion) en fonction de la topologie de l'entraînement et du point de mise à la terre.

Les distances d'isolement et lignes de fuite, le niveau d'essai en impulsion et le niveau d'essai en tension alternative sont définis en 9.2 à partir des exigences de contraintes de tension.

9.2.4.4 Câbles de puissance

Ils doivent être définis en fonction des contraintes d'isolement calculées (valeur de crête, mode commun, temps de montée, fréquence des impulsions, réflexion) en fonction de la topologie de l'entraînement et de la mise à la terre du circuit de puissance.

Ces valeurs doivent être incluses dans la spécification du câble de puissance établie par le concepteur de l'entraînement.

9.2.4.5 Bobinages du moteur

Voir 8.4.5.

L'isolement du moteur et le filtre de sortie du convertisseur s'il existe, doivent être définis de telle manière que la contrainte d'isolement du moteur soit toujours à l'intérieur des limites définies en 9.3 (y compris avec les effets de la tension de mode commun).

9.2.4 Insulation requirements due to converter operation

9.2.4.1 Specific constraints

The voltage stress to earth applied to the different equipment, depends on the PDS power part earthing point.

Special attention is needed in the case of short rise-times and high switching frequencies. In such cases, voltage reflections occur in typical power cable systems. This voltage reflection causes an additional stress to all connected power components.

It is within the responsibility of the system supplier to specify the typical insulation stress, taking into account:

- the PDS power part earthing point and impedance;
- the common mode issues;
- the voltage reflection;
- the fault conditions;
- for the main power parts of the PDS, such as: transformer windings, converter, power cables, motor windings and motor bearings and motor shaft earthing.

9.2.4.2 Transformer windings

Transformer windings are to be defined according to the calculated insulation stresses (peak values, common mode, peak rise time, pulse frequency, reflections) defined by the drive system topology and the PDS power part earthing concept.

These values should be included in the transformer specification made by the PDS system designer.

9.2.4.3 Converter

Converters are to be defined according to the calculated insulation stresses (peak values, common mode, peak rise times, pulse frequency, reflections) defined by the drive system topology and the PDS power part earthing concept.

Based on the defined voltage stress levels, the requirements in regard to creepages, clearances, impulse tests and a.c. voltage test levels are defined in 9.2.

9.2.4.4 Power cables

Power cables are to be defined according to the calculated insulation stresses (peak values, common mode, peak rise times, pulse frequency, reflections) defined by the drive system topology and the PDS power part earthing concept.

These values should be included in the power cable specification made by the PDS system designer.

9.2.4.5 Motor windings

See 8.4.5.

The inverter output filter, if any, and the motor insulation shall be designed in such a way that the motor insulation stress is always within the limits defined in 9.3. (common mode effects included).

9.2.4.6 Tensions d'arbre et paliers du moteur

Voir 8.4.4.1.

Des mesures complémentaires sont parfois exigées, telles que:

- l'isolation complète de l'arbre moteur par rapport à la carcasse au moyen de deux paliers isolés, associée à une mise à la terre appropriée de l'arbre afin d'éliminer les effets électrostatiques;
- la mise en œuvre d'un accouplement mécanique isolé entre le moteur et le matériel entraîné.

Un filtrage peut aussi être envisagé, en fonction de la topologie de l'onduleur, particulièrement dans le cas d'onduleurs en source de tension avec commande en MLI au moyen de:

- filtres de mode commun;
- limitation de dv/dt ;
- filtre sinusoïdal.

Il convient que le fournisseur du système précise si des mesures supplémentaires sont nécessaires.

9.2.5 Exigences concernant l'interface de puissance interne

9.2.5.1 Généralités

Les interfaces de puissance d'un entraînement peuvent être multiples. Les différentes liaisons de puissance entre le transformateur de puissance et le convertisseur, la boucle intermédiaire à courant continu entre le convertisseur d'entrée et le ou les convertisseurs de sortie si elle existe, ou entre le convertisseur et le moteur doivent être définies pour la transmission de puissance en tenant compte des effets du résidu harmonique de courant. Il est souhaitable que la conception tienne compte des réflexions, des couplages capacitifs possibles, des couplages magnétiques ou du rayonnement.

Il est souhaitable que la mise en parallèle des câbles soit assurée de préférence en utilisant des câbles multipolaires. Lorsque de tels câbles adaptés ne sont pas disponibles, l'utilisation de câbles unipolaires est possible à condition que le système multiphasé soit physiquement reconstitué pour chaque unité de câbles en parallèle.

9.3 Interface de protection

Il est souhaitable que l'entraînement comporte les fonctions de protections nécessaires, les protections des composants du système et d'une manière générale qu'il présente un haut niveau de disponibilité. Une protection de bonne conception protège contre les défauts internes et les défauts externes de l'entraînement. Il est souhaitable d'inclure les protections listées au tableau 8.

9.2.4.6 Shaft voltages and motor bearings

See 8.4.4.1.

In some cases, additional insulation measures are required, such as:

- the complete isolation of the motor shaft is from the motor frame by the insulation of all the motor bearings in combination with a suitable earthing of the shaft to exclude electrostatic charging effects;
- an insulated coupling used to connect the driven equipment.

Filtering can also be considered, according to the topology of the inverter, particularly in the case of PWM voltage source inverters by means of:

- common mode filters;
- dv/dt limitation;
- sinusoidal filter.

The system supplier should give advice, if additional measures are required.

9.2.5 Internal power interface requirements

9.2.5.1 General

The power interfaces of a PDS may be multiple. The different power links such as those between the power transformer and the converter, a d.c. link bus between the input converter and the output converter(s) if any, or between the converter and the motor shall be defined for power transmission including the effects of the harmonic content of the current. The design should take into account reflections, possible capacitive coupling, magnetic coupling or radiation.

Cables should preferably be put in parallel by the use of multi-phase cables. Where such appropriate cables are not available, the use of single core cables is possible provided that the multi-phase system is physically constituted for each unit of parallel cables.

9.3 Protection interface

The PDS should contain the necessary protection functions, system components protection and a generally high system availability. Well-designed protection will protect against contingencies internal and external to the drive system. This should include the protections listed in table 8.

Tableau 8 – Fonctions de protection de l'entraînement

Alimentation côté réseau	Alarme	Déclenchement	Remarque
Coupure, perte de phase	X	X	
Surtension de ligne	X	X	
Sous-tension de ligne	X	X	
Déséquilibre de tension	X	X	
Ligne d'alimentation	Alarme	Déclenchement	Remarque
Surintensité		X	
Surcharge	X	X	
Transformateur	Alarme	Déclenchement	Remarque
Dégagement gazeux (Buchholz)	X	X	type à huile seulement
Température excessive	X	X	
Perte du fluide de refroidissement	X	X	
Niveau d'huile bas	X		type à huile seulement
Convertisseur	Alarme	Déclenchement	Remarque
Surintensité	X	X	défaut de commutation, court-circuit, etc.
Surcharge	X	(X)	thermique
Surtension	X	X	
Défaut de masse	X	(X)	
Perte de refroidissement	X	(X)	
Température excessive	X	(X)	
Perte de l'alimentation auxiliaire	X	X	
Perte de communication avec le contrôle procédé	X	(X)	
Perte de retour de mesure vitesse	X		
Moteur	Alarme	Déclenchement	Remarque
Moteur surtension/sous tension	X	X	
Surintensité moteur	X	X	
Surcharge	X	(X)	thermique
Survitesse	X	X	
Température de bobinage excessive	X	X	
Température de palier excessive	X	X	
Fortes vibrations	X	X	
Perte de refroidissement	X	X	
Perte de lubrification	X	X	
NOTE 1 La fonction de protection contre les vibrations peut être prise en charge par le fournisseur du matériel entraîné.			
NOTE 2 (X): application conditionnelle.			
NOTE 3 Il faut examiner l'impédance du réseau d'alimentation à l'IPC (voir 5.1.1.2) et l'impédance d'entrée de l'entraînement (voir 8.2.3).			

La demande et le domaine d'application des protections de l'entraînement croissent typiquement avec la puissance de l'entraînement. Dans le cas des entraînements importants, il est recommandé de disposer d'un système de diagnostic pour les conditions de défaut, permettant d'aider l'acheteur.

Table 8 – PDS protection functions

Line-side supply	Alarm	Trip	Remark
Outage, phase loss	X	X	
Line overvoltages	X	X	
Line under-voltages	X	X	
Line voltage unbalance	X	X	
Line feeder	Alarm	Trip	Remark
Over-current		X	
Overload	X	X	
Transformer	Alarm	Trip	Remark
Gas relay (Buchholz)	X	X	oil-type only
Over-temperature	X	X	
Loss of cooling media	X	X	
Low oil level	X		oil-type only
Converter	Alarm	Trip	Remark
Overcurrent	X	X	commutation failure, short circuit, etc.
Overload	X	(X)	thermal
Overvoltage	X	X	
Ground fault	X	(X)	
Loss of cooling	X	(X)	
Over-temperature	X	(X)	
Loss of auxiliary supply	X	X	
Loss of communication to process control	X	(X)	
Loss of speed feedback	X		
Motor	Alarm	Trip	Remark
Motor over/under-voltage	X	X	
Motor overcurrent	X	X	
Overload	X	(X)	thermal
Over-speed	X	X	
Winding over-temperature	X	X	
Bearing over-temperature	X	X	
High vibrations	X	X	
Loss of cooling	X	(X)	
Loss of lubrication	X	X	
NOTE 1 Vibration protection functions can be taken care of by the driven equipment supplier.			
NOTE 2 (X): conditionally applied.			
NOTE 3 The impedance of the supply network at the IPC (see 5.1.1.2), and the input impedances of the PDS (see 8.2.3) shall be considered.			

The demand for and the scope of the PDS protection system increase typically with the power of the drive system. For large or important drives, a diagnostic system to help the customer in fault conditions is recommended.

9.4 Interface avec le matériel entraîné

9.4.1 Vitesses critiques

Il est souhaitable que le calcul des résultats concernant les vitesses critiques latérales de l'ensemble du système mécanique et les exigences locales applicables (voir 8.4.4.3) fassent l'objet d'un accord entre le fournisseur du système, l'acheteur de l'entraînement et le fournisseur du matériel entraîné. Il convient de prêter une attention particulière à:

- la prise en compte de l'influence de la raideur des paliers et des fondations;
- la manière d'éviter une marche permanente avec un amortissement insuffisant au voisinage des vitesses critiques latérales ($\pm 20\%$).

Dans le cas de paliers actifs (par exemple paliers magnétiques), le fonctionnement continu aux vitesses critiques latérales est possible.

9.4.2 Analyse de torsion

L'analyse de torsion est un outil de conception important des entraînements et des équipements entraînés, permettant de vérifier les contraintes de torsion dans l'ensemble du système mécanique, par exemple particulièrement dans les conditions de fonctionnement suivantes:

- démarrage;
- court-circuit monophasé ou triphasé aux bornes du moteur;
- effet d'un défaut de commutation possible du convertisseur;
- effet des composantes harmoniques du couple dans les conditions de régime permanent.

L'analyse de torsion d'un entraînement et des matériels entraînés est recommandée, en particulier dans les cas où il y a risque de résonance entre l'inertie du moteur et celle des matériels entraînés. Les cas les plus pertinents sont:

- lorsque l'inertie des matériels entraînés est supérieure à la moitié de l'inertie du moteur, en effet le risque de contraintes de torsion importante croît avec l'inertie de l'équipement entraîné (comparativement à l'inertie du moteur);
- si un défaut de commutation du convertisseur peut être à l'origine de couples dynamiques plus importants que ceux correspondant à un court-circuit triphasé sur le moteur;
- là où on peut s'attendre à rencontrer, en régime établi ou pendant un démarrage, des composantes du couple électromagnétique (couple d'entrefer) supérieures à 1 % du couple assigné pour les fréquences inférieures à 100 Hz;
- si la puissance est supérieure à 5 MVA;
- si l'arbre est de grande longueur et/ou de configuration mécanique complexe.

Pour l'analyse de torsion, le fournisseur de l'entraînement doit donner:

- les pulsations de couple d'entrefer (comprenant la composition harmonique) sur toute la plage de vitesse;
- le dessin mécanique de l'arbre, du côté de l'entraînement, avec les informations sur les propriétés des matériaux.

Pour l'analyse de torsion, le fournisseur du matériel entraîné doit donner:

- toute information sur une quelconque pulsation de couple due à la charge (comprenant la composition harmonique) sur toute la plage de vitesse;
- le dessin mécanique de l'arbre avec les informations sur les propriétés des matériaux.

9.4 Driven equipment interface

9.4.1 Critical speeds

The system supplier, the customer and the driven equipment supplier should come to an agreement on the calculations of the resulting critical lateral speeds of the whole mechanical string and the applicable local requirements (see 8.4.4.3). Special attention should be paid to:

- take into account the influence of the stiffness of the bearing arrangement and the foundation;
- avoid any continuous running with insufficient damping close to lateral critical speeds ($\pm 20\%$).

In the case of active bearings (e.g. magnetic bearings), continuous operation at lateral critical speeds may be possible.

9.4.2 Torsion analysis

Torsion analysis is an important system design tool for PDS and driven equipment to check the torsion stresses in the whole mechanical string, especially, for example in the following operating conditions:

- start-up;
- 1-phase or 3-phase short-circuit on the terminals of the motor;
- impact of possible commutation failure of the converter;
- impact of the harmonic components of the torque in stationary conditions.

A torsion analysis is recommended for the PDS and driven equipment, especially in cases where risk of resonance exists between the inertia of the motor and the inertia of the driven equipment. The most relevant cases are:

- where the inertia of the driven equipment is higher than the half of the inertia of the motor, actually the risk of high torsion stress grows with increasing inertia of the driven equipment (compared to the inertia of the motor);
- where commutation failures of the converter may cause higher torque dynamics than a three-phase short-circuit of the motor;
- where within the electromagnetic torque (air gap torque) of a motor, any frequency components below 100 Hz can be expected to exceed 1 % of the nominal torque in a steady state or during start-up;
- for any drive systems above 5 MVA;
- there is a long shaft connection and/or complex mechanical configurations.

For the torsion analysis, the system supplier shall supply:

- the air-gap torque pulsations (including the harmonic composition) over the whole speed range;
- the mechanical drawing of the shaft with information on the material properties for the drive side.

For the torsion analysis, the driven equipment supplier shall supply:

- information on any load torque pulsations (including the harmonic composition) over the whole speed range;
- the mechanical drawing of the shaft with information on the material properties.

10 Essais

10.1 Exécution des essais

L'exécution des essais et les exigences qui y sont attachées doivent faire l'objet d'un accord contractuel. Ce paragraphe spécifie les différents types d'essais. Les essais individuels des composants principaux, c'est-à-dire moteurs, transformateurs et convertisseurs, doivent être exécutés selon les spécifications des normes CEI pertinentes. Dans cette norme, on souligne les exigences supplémentaires des essais relatifs à la vitesse variable, aux harmoniques, etc.

Les essais de type sont normalement uniquement exigés sur un exemplaire d'unité. Les essais individuels de série doivent être exécutés sur chaque unité. Dans le cas où des essais de type ont déjà été pratiqués sur des unités identiques, il est souhaitable que le fournisseur du système fournisse avec son offre les protocoles d'essais.

Des essais spéciaux tels que les essais combinés et les essais de réception doivent faire l'objet d'un accord dans le contrat, voir 3.6.4.

Les essais exigés pour déterminer les pertes des composants individuels et du système, et donc les rendements tels que définis à l'article 11, doivent faire l'objet d'un accord dans le contrat.

Les essais doivent normalement être exécutés par le fournisseur du système avant l'expédition. Il convient que les dispositions différentes fassent l'objet d'un accord avant la commande.

Les essais client doivent être spécifiés dans la commande. Sauf accord contraire, le fournisseur du système doit annoncer les essais client au moins dix jours ouvrables à l'avance, à l'acheteur ou à son représentant. Le fournisseur du système ne peut poursuivre le programme au-delà d'un essai client qu'avec acceptation des résultats de cet essai, ou avis de renonciation, par l'acheteur ou son représentant. Le fournisseur du système doit aussi annoncer à l'acheteur en temps utile les autres essais, tels que définis dans le contrat. L'acheteur décide alors si lui-même ou son représentant doit y assister, sans que cela intervienne sur la poursuite du programme d'essais par le fournisseur du système.

Le fournisseur du système doit envoyer pour accord, en temps utile avant les essais programmés, à l'acheteur ou à son représentant officiel, les procédures d'essai et les critères d'acceptation correspondants.

10.2 Essais des constituants séparés du PDS

10.2.1 Vue d'ensemble des essais normalisés des constituants des entraînements

Tableau 9 – Essais normalisés des constituants des entraînements

Composants du PDS	Normes CEI
Filtre harmonique	CEI 60146-1-3
Transformateur	CEI 60146-1-3 article 5, CEI 61378-1
Moteur	CEI 60034-1, CEI 60034-2
Convertisseur	Voir tableau 10
Contrôle et protection	Voir tableau 10

NOTE 1 Lorsque le filtre harmonique doit être essayé dans des conditions différentes de celles de sa définition, les conditions d'accord, la charge des composants et le résultat peuvent en être affectés.

NOTE 2 Si un essai d'échauffement à pleine charge est exécuté en vue de déterminer les rendements et les échauffements, les essais individuels du transformateur et du moteur, relatifs à cet objectif, ne sont pas exigés.

10 Tests

10.1 Performance of tests

The performance of tests and test requirements shall be agreed upon in the contractual documents. This subclause specifies the different types of tests. Individual tests of main components, i.e. motors, transformers and converters, shall be performed as specified in the relevant IEC documents. In this standard, the additional test requirements concerning by the drive system, adjustable speed, harmonics etc. are outlined.

Normally, type tests are required on only one unit. Routine tests shall be performed on all units. If type tests of identical units already exist, the system supplier should provide test protocols with his bid.

Special tests such as combined tests, see 3.6.4, and acceptance tests, shall be agreed upon in the contract.

Tests required in order to determine the individual devices and system losses, and hence the efficiencies as defined in clause 11, shall be agreed upon in the contract.

Tests shall normally be performed by the system supplier prior to shipment. Other arrangements should be agreed upon prior to order.

Witness tests shall be specified in the order. If not otherwise agreed upon, the system supplier shall notify the customer or his authorized representative at least ten working days prior to all witness tests. The system supplier shall not proceed beyond any witness test without the customer's or his representative's acceptance of the tests or his waiver. The system supplier shall also inform the customer in due time of the other tests as agreed in the contract. The customer will decide whether he or his representative shall be present. The system supplier may anyhow proceed.

Test procedures with the relevant acceptance criteria shall be sent by the system supplier to the customer or his authorized delegate and be accepted by him in due time before the scheduled tests.

10.2 Items of individual PDS component tests

10.2.1 Overview of standard tests for PDS components

Table 9 – Standard tests for PDS components

PDS component	IEC standard
Harmonic filter	IEC 60146-1-3
Transformer	IEC 60146-1-3 clause 5, IEC 61378-1
Motor	IEC 60034-1, IEC 60034-2
Converter	See table 10
Control and protection	See table 10

NOTE 1 When the harmonic filter is to be tested under different conditions from those used for its design, tuning conditions, component load and results may be affected.

NOTE 2 If a system full load heat run test is performed in order to determine efficiencies and temperature rises, individual transformer and motor tests for these purposes are not required.

L'essai de type du filtre, s'il est applicable, doit vérifier que les paramètres de performances du filtre sont conformes. Si cela est pratiquement possible, il est souhaitable que cet essai établisse également que les critères de conception relatifs aux contraintes maximales de courant et de tension, ainsi que de température, sont atteints.

NOTE 3 Des essais de mise en service complémentaires sont normalement exigés.

NOTE 4 Le filtre peut être un filtre commun dans l'installation.

Si cela est praticable, il est souhaitable que les échauffements de l'équipement soient déterminés par un essai de fonctionnement à pleine charge, comprenant les harmoniques réels de courant et la distorsion de tension harmonique réelle, voir 10.3.

Si l'essai de type du transformateur repose sur la méthode des pertes séparées conformément à la CEI 60076 ou à la CEI 60726, ne prenant en compte que la composante fondamentale sinusoïdale, on doit justifier les marges appropriées correspondant aux pertes et échauffements dus aux composantes harmoniques effectives. Ces pertes et les marges de températures associées doivent être prédéterminées théoriquement avant l'essai.

Tous les essais spécifiés dans la CEI 60076 et la CEI 60726 s'appliquent aussi aux transformateurs du convertisseur s'ils ne sont pas en contradiction avec les essais spécifiés dans le paragraphe précédent.

Les pertes ci-dessus et les températures doivent être calculées à partir du courant fondamental assigné et de la distorsion harmonique de courant maximale.

Les essais spécifiés dans la CEI 60146-1-3, article 5, sont considérés comme des essais spéciaux applicables au transformateur.

Un essai séparé du moteur, conformément à la CEI 60034 ne donne pas de garantie sur le comportement prévu de l'entraînement et des matériels entraînés. On doit examiner l'ondulation et le résidu harmonique soit en essayant le moteur alimenté à partir d'un convertisseur de caractéristiques similaires au celui qui est prévu pour son fonctionnement en exploitation (voir essais associés), soit en délivrant les informations appropriées. Dans ce dernier cas, il est souhaitable que le fournisseur du système délivre les informations permettant de prendre en compte tous les phénomènes pertinents, par exemple:

- composantes pulsatrices du couple d'entrefer et inertie du rotor, tels que nécessaires à l'analyse de torsion;
- pertes complémentaires nécessaires à la détermination du rendement;
- échauffement total;
- bruit acoustique supplémentaire.

NOTE 5 Si le moteur comporte deux enroulements triphasés, déphasés de 30°, il convient de définir les tensions et les courants d'essais correspondants.

Conformément à la zone de fonctionnement de l'entraînement, il faut déterminer les échauffements du moteur à la vitesse minimale et à la vitesse assignée, à la vitesse de base, si l'entraînement comporte une zone de fonctionnement à puissance constante, et à la vitesse maximale si elle est différente de la vitesse assignée. Au vu des résultats de ces mesures, on doit décider s'il est nécessaire de procéder à d'autres mesures en raison du système de refroidissement (évacuation des pertes) et/ou de la méthode de modulation (production de pertes).

The type test of the filter, if applicable, shall verify that the performance parameters of the filter are met. This test should also, if it is practical to do so, verify that the design criteria with respect to maximum voltages and current stresses, as well as temperature levels are fulfilled.

NOTE 3 Additional commissioning tests are normally required.

NOTE 4 The filter can be a common plant filter.

If applicable, it is desirable that equipment temperature rise should be determined by a full load heat run test which includes the real harmonics current and voltage distortion, see 10.3.

If the type test of the transformer is based on the separate loss method according to IEC 60076 or IEC 60726, which only takes into account the fundamental sinusoidal component, adequate margins for losses and temperature rise due to the real harmonic components shall be documented. These losses and associated temperature margins shall be theoretically calculated in advance of the tests.

All tests specified in IEC 60076 and IEC 60726 shall also apply to converter transformers, if not in contradiction with the tests specified in the above clause.

The above defined losses and temperatures shall be calculated based on rated fundamental current and maximum harmonics current distortion.

The tests specified in clause 5 of IEC 60146-1-3 are to be regarded as special tests applicable to the transformer.

A separate test of the motor, according to IEC 60034 does not guarantee the intended operation of the PDS and driven equipment. Ripple and harmonic content shall be considered either by testing the motor supplied with a converter of similar characteristics to those of the converter with which it will be supplied (see combined test), or by providing information. In that case, the system supplier should provide information on how to take into account all relevant phenomena, for example:

air gap pulsating torque components and rotor inertia, required for torsion analysis;

- additional losses for efficiency determination;
- total temperature rise;
- additional acoustic noise.

NOTE 5 If the motor has two 3-phase windings with a 30° phase shift, the equivalent test voltage and test current should be found.

Based on the drive system's load envelope, the temperature rise of the motor shall be determined at minimum and at rated speed, at base speed if the drive system has a constant power range, and at maximum speed if it is different from the rated speed. Based on the results of these measurements, it shall be decided whether further measurements, due to cooling system (clearing of losses) and/or modulation method are required (production of losses).

10.2.2 Essais normalisés du convertisseur et du contrôle

10.2.2.1 Synoptique

Tableau 10 – Essais normalisés du convertisseur en tant que constituant

Essai	Essai de type	Essai individuel de série	Essai spécial	Spécification et paragraphe
Isolement (voir note 1)	X	X		4.2.1 de la CEI 60146-1-1
Fonctionnement et faible charge (voir note 2)	X	X		4.2.2 de la CEI 60146-1-1 7.3.5 de la CEI 60146-2
Courant assigné	X			4.2.3 de la CEI 60146-1-1 7.3.6 de la CEI 60146-2
Courant de surcharge (voir note 3)			X	4.2.12 de la CEI 60146-1-1 7.3.7 de la CEI 60146-2
Equilibrage des courants	X			10.2.2.3
Répartition des tensions	X			10.2.2.3
Ondulation de tension entre phases et ondulation de courant			X	4.2.15 de CEI 60146-1-1
Détermination des pertes (voir annexe C)	X			4.2.4 de la CEI 60146-1-1 7.3.9 de la CEI 60146-2
Echauffement (voir note 4)	X			4.2.5 de la CEI 60146-1-1
Mesure de la chute de tension interne			X	4.2.8 de la CEI 60146-1-1
Vérification des dispositifs auxiliaires	X	X		4.2.7 de la CEI 60146-1-1
Vérification du fonctionnement de l'équipement de contrôle	X	X		Voir 10.2.2.2 et note 2
Vérification des dispositifs de protection	X	X		4.2.10 de la CEI 60146-1-1
Bruit audible (essai supplémentaire)			X	4.2.14 de la CEI 60146-1-1
Facteur de puissance			X	
Essais supplémentaires			X	4.2.16 de CEI 60146-1-1
NOTE 1 Les semi-conducteurs de puissance peuvent être court-circuités lors des essais d'isolement. Il est souhaitable que le fabricant du composant en vérifie séparément le niveau d'isolement. NOTE 2 Il est possible de pratiquer un essai à faible charge avec un moteur de taille inférieure à la taille assignée. Cependant, il convient que la tension et la gamme de vitesses/fréquences soient appropriées. NOTE 3 Le courant de surcharge du convertisseur correspond à la capacité de surcharge de l'entraînement (6.1.4). Il est souhaitable que les valeurs spécifiées de surcharge en courant de durée courte ou pendant les séquences de démarrage de la charge présente soient appliquées à l'intervalle de temps spécifié. NOTE 4 Il convient que les essais d'échauffement permettent de vérifier des marges adéquates concernant aussi bien le semi-conducteur de puissance que d'autres composants critiques, par exemple condensateurs et circuits imprimés. Il convient que le constructeur du convertisseur prépare les calculs théoriques de température de jonction avant de pratiquer les essais afin d'explicitier les marges des semi-conducteurs.				

10.2.2 Standard tests of the converter and control

10.2.2.1 Overview

Table 10 – Standard tests of the converter as component

Test	Type test	Routine test	Special test	Specification and subclause
Insulation (see note 1)	X	X		4.2.1 of IEC 60146-1-1
Light load and operation (see note 2)	X	X		4.2.2 of IEC 60146-1-1 7.3.5 of IEC 60146-2
Rated current/output	X			4.2.3 of IEC 60146-1-1 7.3.6 of IEC 60146-2
Overcurrent capability (see note 3)			X	4.2.12 of IEC 60146-1-1 7.3.7 of IEC 60146-2
Current sharing	X			10.2.2.3
Voltage division	X			10.2.2.3
Interphase ripple voltage and ripple current			X	4.2.15 of IEC 60146-1-1
Power loss determination (see annex C)	X			4.2.4 of IEC 60146-1-1 7.3.9 of IEC 60146-2
Temperature rise (see note 4)	X			4.2.5 of IEC 60146-1-1
Measurement of inherent voltage regulation			X	4.2.8 of IEC 60146-1-1
Checking of auxiliary devices	X	X		4.2.7 of IEC 60146-1-1
Checking the properties of the control equipment	X	X		See 10.2.2.2 and note 2
Checking the protective devices	X	X		4.2.10 of IEC 60146-1-1
Audible noise (commissioning test)			X	4.2.14 of IEC 60146-1-1
Power factor			X	
Additional tests			X	4.2.16 of IEC 60146-1-1
NOTE 1 Insulation tests may be done with the power semiconductor devices short-circuited. The manufacturer of the component should have separately checked the insulation level of these devices. NOTE 2 A light load test might be performed with a motor of smaller power than the assigned one. However the voltage and speed/frequency ranges should be relevant. NOTE 3 The overcurrent of the converter reflects the overload capability of the PDS [6.1.4]. Specified values of short time over current or starting up sequences of actual load should be applied for the time interval specified. NOTE 4 The temperature tests should verify adequate margins for the power semiconductors as well as other critical devices, for example capacitors and printed wiring boards (PWB). To document semiconductor margins, the converter manufacturer should prior to the tests produce theoretical calculations of the junction temperature.				

10.2.2.2 Isolement – Fonctions – Contrôle

Les essais d'isolement du convertisseur doivent tenir compte des crêtes transitoires de tension maximale et des crêtes de tension répétitive maximale.

Les essais de fonctionnement doivent comprendre au minimum:

- démarrage et accélération jusqu'à la vitesse minimale de fonctionnement, conformément à la zone de fonctionnement;
- fonctionnement stable pour un nombre raisonnable de consignes de vitesses différentes, comprenant si possible la vitesse assignée et la vitesse maximale si elle est différente de la vitesse assignée;
- accélération et décélération stables entre les vitesses de fonctionnement ci-dessus.

NOTE Il peut être judicieux d'ajouter de l'inertie pour les besoins des essais.

Les essais au courant assigné et au courant de surcharge doivent être exécutés en tant que partie des essais du système, voir 10.3, ou en tant qu'essais spéciaux lorsque la charge correspondante est disponible.

Les essais individuels de série des équipements/fonctions de contrôle peuvent être exécutés avec un moteur d'essai de plus petit calibre et avec une mise à l'échelle appropriée des dispositifs de mesure. Les essais à faible charge (voir 10.3.3.1 ou tableau 10) permettent aussi de vérifier quelques-unes des fonctions de contrôle. La mise à l'échelle appropriée permet d'essayer les fonctions de limitation de courant aussi bien que d'accélération et de décélération si elles existent.

Pour essayer l'équipement de contrôle, on peut pratiquer les essais avec un moteur de puissance inférieure.

10.2.2.3 Protections et dispositifs spécifiques

Les essais individuels des équipements/fonctions de protection peuvent être exécutés en simulant les défauts au moyen des contacts appropriés.

Les essais de type des fonctions de protection doivent faire l'objet d'une proposition de programme établie par le fournisseur du système.

Équilibrage des courants – Si des composants de puissance ou des convertisseurs sont montés en parallèle dans l'entraînement, il convient de vérifier l'équilibrage de la répartition de courant là où elle s'applique. La mesure doit être faite au courant assigné de sortie.

Ces dispositions concernent pratiquement:

- les redresseur d'entrée et/ou onduleurs d'indice de pulsation 12;
- les stators de moteurs à deux enroulements parallèles (configuration à 6 phases).

L'équilibrage doit être tel que les contraintes ne dépassent pas les valeurs de conception du cas le plus défavorable (déduit des tolérances sur les composants, des marges de conception, des conditions de service, etc.). Ces valeurs de conception doivent être disponibles avant le début des essais.

Répartition des tensions – Si deux ou plus de deux composants de puissance et/ou convertisseurs sont connectés en série, il faut vérifier la répartition de tension. La répartition de tension doit être telle que les contraintes ne dépassent pas les valeurs de conception du cas le plus défavorable. Ces valeurs de conception doivent être disponibles avant le début des essais.

10.2.2.2 Insulation – Functional – Control

The insulation tests of the converter shall take into account the maximum transient and stationary voltage spikes.

The functional test shall consist of at least the following:

starting and acceleration to minimum operating speed, according to the load window;

- stable operation at a reasonable number of speed settings, if possible including the rated speed and the maximum speed, if different from the rated value;
- stable acceleration and deceleration between the above-mentioned operating speeds.

NOTE For the purpose of testing, some additional inertia might be appropriate.

Rated current and overcurrent tests shall either be performed as part of the system tests, see 10.3, or as a special device test where the relevant equipment for loading the converter is at hand.

Routine testing of the control functions/equipment can be done with a smaller test motor and adequate scaling of the measuring devices. The light load test (see 10.3.3.1 or table 10), also checks some of the control functions. By adequate scaling, the current limit function might be tested, as well as acceleration and deceleration, if relevant.

Type testing of the control equipment can be done using a motor with a lower rating.

10.2.2.3 Protections and specific items

Routine testing of the protection functions/equipment can be done by simulating the failure causes by operating the relevant switches.

For the type testing of the protection functions, the system supplier shall propose an appropriate test program.

Current sharing – If parallel connected power semiconductors and/or converters are used in the drive system, the current sharing should be checked. This test shall be performed at rated output current.

Actual cases are:

- input rectifier and/or inverter in 12-pulse configuration;
- motor stator with two parallel windings (in 6-phase configuration).

The balance shall be adequate to ensure that no device is stressed beyond design values under the worst case conditions (derived from component tolerances, design margins, service conditions, etc.). These design limits shall be identified before the tests start.

Voltage division – If two or more power semiconductors and/or converters are connected in series, voltage division shall be checked. The voltage division shall be adequate to ensure that no device is stressed beyond design values under the worst case conditions (derived from component tolerances, design margins, service conditions, etc.). These design limits shall be identified before the tests start.

10.3 Essais de l'entraînement

10.3.1 Généralités

Sauf spécification contraire dans la norme de référence du tableau 11, les essais de l'entraînement sont des essais spéciaux et doivent faire l'objet d'un accord contractuel. S'ils sont exécutés, certains d'entre eux remplacent les essais décrits en 10.2.

Une charge est nécessaire, soit les matériels entraînés, soit une charge étalonnée ou un autre équipement spécifique de charge. Si des mesures de rendement doivent être pratiquées, cette charge doit être étalonnée. La méthode des essais en opposition peut être pratiquée si deux entraînements sont disponibles. Voir la détermination des rendements à l'article 11.

Les éléments des essais d'un PDS sont donnés au tableau 11.

Tableau 11 – Essais d'un entraînement

Performances en régime établi	Norme de référence ou paragraphe des spécifications
Essai à faible charge	10.3.3.1
Essai à la caractéristique de charge (zone de fonctionnement)	10.3.3.2
Essai de cycles de charge (charge intermittente)	10.3.3.3
Courant à pleine charge autorisé en fonction de la vitesse	10.3.3.4
Echauffements	10.3.3.5
Rendement	10.3.3.6 et article 11
Résidu harmonique de courant côté réseau	10.3.3.7
Facteur de puissance	10.3.3.8
Vérification des dispositifs auxiliaires	10.3.3.9
Vérification de la coordination des protections	10.3.3.10
Vérification des propriétés en conditions de service inhabituelles	10.3.3.11
Courant d'arbre/isolément des paliers	10.3.3.12
Bruit audible	10.3.3.13
Pulsation de couple	10.3.3.14
Vibrations du moteur	10.3.3.15
Essais de CEM	10.3.3.16 et CEI 61800-3
Performances dynamiques	10.3.4
Limitation de courant et essai de la boucle de courant	10.3.4.1
Essai de la boucle de vitesse	10.3.4.2
Redémarrage automatique/Réaccélération	10.3.4.3

10.3.2 Matériel d'essai

Voir à la figure 23 les circuits de mesure. Dans celle-ci, les variables physiques sont mesurées directement ou calculées à partir des mesures:

- U pour la tension;
- I pour le courant;
- N pour la vitesse;

10.3 Drive system tests

10.3.1 General

Unless otherwise specified in the reference standard of table 11, drive system tests are special tests and shall be contractually agreed upon. If performed, some of them will replace tests described in 10.2.

A load is required: either the driven equipment, a calibrated load or an another specific load equipment. If efficiency measurements are to be performed, this load machine has to be calibrated. If two drive systems are available, the back-to-back method can be applied. See clause 11 for the determination of efficiencies.

The items for the PDS tests are given in table 11 below.

Table 11 – Drive system tests

Steady state performance	Reference standard or specification subclause
Light load test	10.3.3.1
Load characteristic test (Load envelope test)	10. 3.3.2
Load duty test (Intermittent load test)	10. 3.3.3
Allowable full load current versus speed test	10. 3.3.4
Temperature rise tests	10. 3.3.5
Efficiency	10. 3.3.6 and clause 11
Line-side current distortion content	10. 3.3.7
Power factor	10. 3.3.8
Checking of auxiliary devices	10. 3.3.9
Checking co-ordination of protective devices	10. 3.3.10
Checking properties under unusual service conditions	10. 3.3.11
Shaft current/bearing insulation	10. 3.3.12
Audible noise	10. 3.3.13
Torque pulsation	10. 3.3.14
Motor vibration	10. 3.3.15
EMC tests	10. 3.3.16 and IEC 61800-3
Dynamic performance	10.3.4
Current limit and current loop test	10.3.4.1
Speed loop test	10.3.4.2
Automatic restart/re-acceleration	10.3.4.3

10.3.2 Test set-up

See figure 23 for the measuring circuit. In this figure, physical variables are directly measured, or calculated from measurements:

- U for voltage;
- I for current;
- N for speed;

- M pour le couple;
- θ pour la température;
- P pour la puissance active, etc.

Des mesures supplémentaires peuvent concerner les vibrations, les bruits acoustiques et les interférences de signaux.

NOTE Il faut choisir avec soin les appareils de mesure lorsqu'on doit pratiquer des mesures de rendement. Ceux-ci doivent indiquer la valeur efficace vraie avec une bande passante suffisante pour tenir compte des harmoniques jusqu'au rang 40 et leur précision doit permettre de déterminer les pertes dans une fourchette de 10 %. Voir aussi l'article 11.

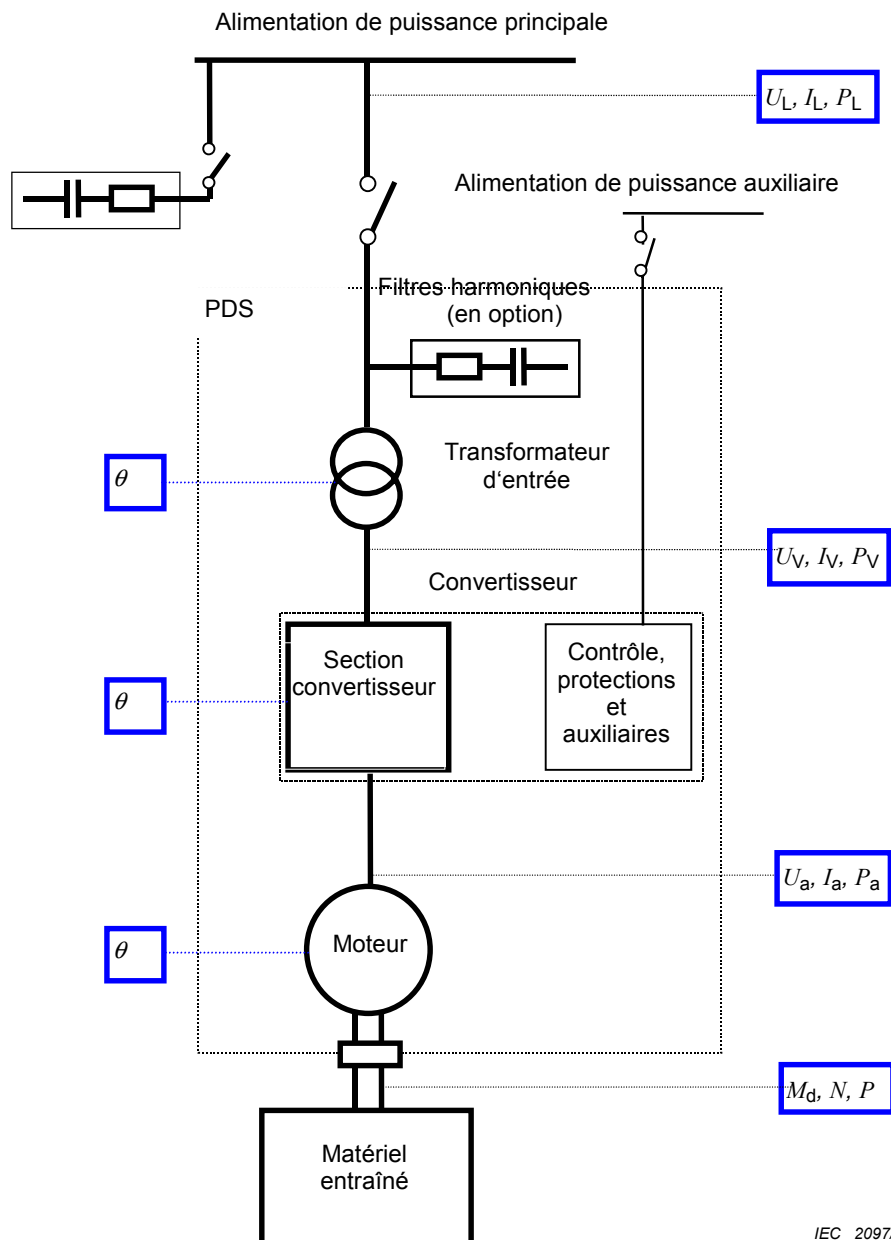
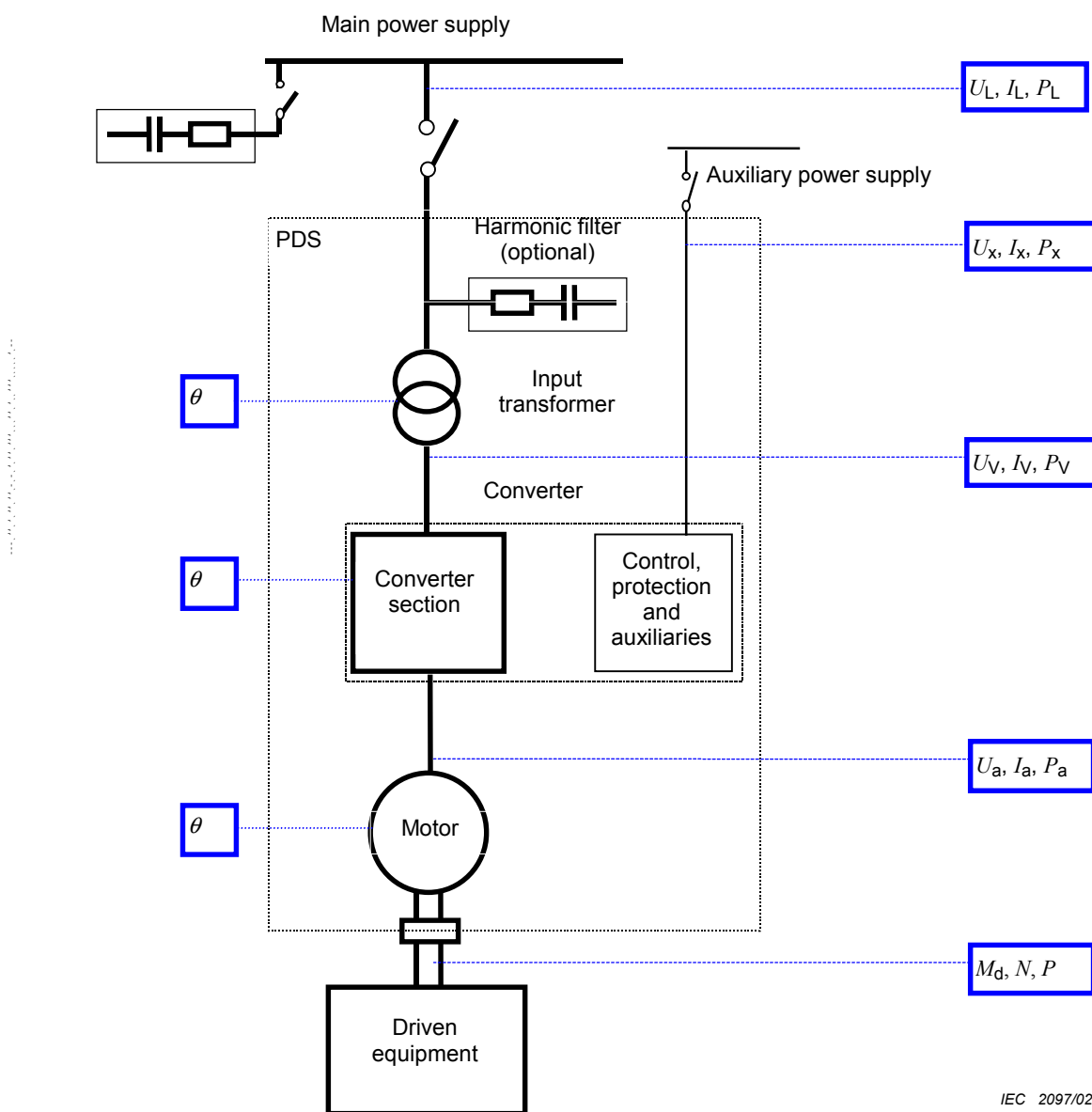


Figure 23 – Points de mesures recommandés sur un entraînement

- M for torque;
- θ for temperature;
- P for active power, etc.

Additional measurements could be vibrations, acoustics and signal interference.

NOTE If efficiencies are to be determined, great care should be taken in choosing the instruments. The instruments should measure true r.m.s. with sufficient bandwidth to include harmonics up to 40th, and a sufficient accuracy to allow the losses to be determined within 10 %. Refer also to clause 11.



IEC 2097/02

Figure 23 – Reference measuring points for drive system tests

10.3.3 Définitions des essais de performance en régime établi

10.3.3.1 Essai à faible charge

L'arbre du moteur est couplé à une charge capable de fournir à l'entraînement en essai des conditions telles que le système de commande puisse être qualifié. Un essai à vide peut être utilisé par accord entre le fournisseur du système et l'acheteur.

NOTE La charge est le matériel entraîné ou, pour les besoins de l'essai, une simulation du matériel entraîné.

10.3.3.2 Essai à la caractéristique de charge

Les mesures doivent au moins être exécutées à la vitesse minimale et à la vitesse assignée pour la caractéristique de couple la plus forte de la zone de fonctionnement, et à la vitesse maximale pour la caractéristique de couple la plus forte de la zone de fonctionnement, si elles ne sont pas identiques aux valeurs assignées. On procède aux mesures suivantes:

- tension U_L , courant I_L et puissance P_L à l'entrée du transformateur;
- tension U_V , courant I_V et puissance P_V à l'entrée du convertisseur;
- tension U_a , courant I_a et puissance P_a à l'entrée du moteur;
- échauffements de chaque constituant principal.

NOTE 1 Le fournisseur du système et l'acheteur doivent convenir du lieu où cet essai est exécuté, en atelier, à la mise en service ou en un autre lieu.

NOTE 2 Si cet essai devait être aussi utilisé pour le calcul du rendement, on trouve à l'article 11 une référence de calcul et d'instrumentation. Dans le cas contraire, des appareils de mesure avec une précision appropriée pour l'onde fondamentale sont suffisants.

NOTE 3 La charge peut être le matériel entraîné, une machine de charge ou un entraînement identique pour la configuration d'essai en opposition.

10.3.3.3 Essai de cycle de charge

Cet essai n'est pertinent que si un cycle de charge intermittent est défini par l'acheteur.

Le moteur doit être accouplé à une charge capable de fournir le cycle de charge défini sur un fonctionnement à long terme de façon à vérifier que les échauffements des équipements atteignent des conditions stables conformes au dimensionnement.

10.3.3.4 Courant maximal fonction de la vitesse

Cet essai doit montrer que le courant de dimensionnement est supérieur à celui correspondant à la zone de fonctionnement, et donc montrer la marge de couple si elle existe. L'essai repose sur les calculs théoriques du fournisseur du système et doit vérifier que les échauffements dans les conditions de refroidissement données restent dans les limites admises.

10.3.3.5 Echauffements

Les essais d'échauffement sont une partie de l'essai à la caractéristique de charge. Voir 10.3.3.2. L'essai d'échauffement doit être poursuivi jusqu'à ce que toutes les températures soient stabilisées.

10.3.3.6 Rendements

Voir 6.1.3 et l'article 11.

10.3.3 Steady state performance tests

10.3.3.1 Light load test

The shaft of the motor is coupled to a load that is able to provide conditions to the drive under test so that the control system can be proven. If agreed upon between the system supplier and the customer, a no load test can be used.

NOTE The load is the driven equipment or, for test purposes, a simulation of the driven equipment.

10.3.3.2 Load characteristic test

Measurements shall at least be performed at the minimum speed and at the rated speed on the upper torque line of the load window, and at the maximum speed and the maximum torque if not identical to the rated values. The following data are measured:

- voltage U_L , current I_L and power P_L at the transformer input;
- voltage U_V , current I_V and power P_V at the converter input;
- voltage U_a , current I_a and power P_a at the motor input;
- temperature rise of each main component.

NOTE 1 The system supplier and customer have to agree where to perform this test, in the workshop, during commissioning or at another test site.

NOTE 2 If this test is also to be used for loss and efficiency calculation, reference is given in clause 11 for the calculations and instrumentation. If not, instruments with adequate accuracy for the fundamental sine wave are sufficient.

NOTE 3 The load could be the driven equipment, a load machine or an identical drive in back-to-back configuration.

10.3.3.3 Load duty test

This test is only relevant if the customer defines an intermittent load duty cycle.

The motor shall be coupled to a load that is capable of providing the defined load duty profile over a long term run, to verify that the temperature rise of all equipment reaches stable conditions within ratings.

10.3.3.4 Allowable full load current versus speed

This test shall establish the current, and hence torque margins if any, above the defined load window. The test is based on the system supplier's theoretical calculations, and shall verify that temperature rises under the given cooling conditions are still within agreed limits.

10.3.3.5 Temperature rise tests

The temperature rise tests are part of the load characteristic test, see 10.3.3.2. The temperature rise tests are to be continued until all temperatures are stabilized.

10.3.3.6 Efficiency

See 6.1.3 and clause 11.

10.3.3.7 Résidu de distorsion en courant côté réseau

Cette mesure est exécutée au moyen des matériels de mesure et de techniques conformes à la CEI 61000-4-7, de préférence aux conditions de fonctionnement assignées. Il est souhaitable de mesurer les rangs harmoniques au moins jusqu'au rang 40.

Il convient que les conditions de court-circuit au PC pendant l'essai soient connues et consignées dans le protocole d'essais.

Si l'entraînement est défini avec un filtre spécifique, il convient que celui-ci soit connecté pendant l'essai.

10.3.3.8 Facteur de puissance

La mesure du facteur de puissance doit être exécutée en tant que partie de l'essai à la caractéristique de charge, voir 10.3.3.2.

10.3.3.9 Vérification des dispositifs auxiliaires

La fonction des dispositifs auxiliaires qui ne sont pas complètement essayés doit être vérifiée. A titre d'exemple on cite: ventilateurs du moteur, dispositifs de lubrification, disjoncteurs extérieurs, contacteurs, etc.

NOTE Cette opération peut être pratiquée au cours des essais à faible charge si cela s'avère pratique, voir 10.3.3.1.

10.3.3.10 Vérification de la coordination des protections

Dans toute la mesure du possible, la vérification de ces dispositifs doit être faite sans appliquer aux composants des contraintes au-delà de leurs valeurs assignées. On recommande des consignes réduites afin d'obtenir des contraintes réduites.

En raison de la grande variété des dispositifs de protection, les détails doivent être préparés dans la procédure d'essais qui doit être appliquée. Elle comprend au minimum:

- a) la vérification des fonctions d'arrêt d'urgence lorsqu'elles existent;
- b) l'essai/la simulation de toutes les fonctions d'alarme et de déclenchement, et en particulier
 - survitesse;
 - surtension;
 - surcharge;
- c) perte du retour tachymétrique;
- d) défaut de terre;
- e) l'essai des fonctions de limitation de courant/couple.

10.3.3.11 Vérification des propriétés en conditions de service inhabituelles

Les conditions de service inhabituelles sont principalement des conditions d'environnement, telles que la température, l'humidité, la salinité, l'altitude, etc., en dehors des spécifications normales de la CEI pour l'appareil considéré.

De telles conditions peuvent nécessiter une conception spéciale, ou des critères de dimensionnement spéciaux, ou une enveloppe de protection supplémentaire, etc., et doivent être spécifiées par l'acheteur dans sa demande. Les mesures correctives et critères d'essais doivent faire l'objet d'un accord contractuel.

10.3.3.7 Line-side current distortion content

This measurement is performed using instrumentation and techniques in accordance with IEC 61000-4-7, preferably under rated operating conditions. Harmonics up to at least the 40th harmonic should be measured.

The short-circuit conditions at the PC during the test should be known and identified in the test protocol.

If a specific filter is designed for the drive, it should be connected during the test.

10.3.3.8 Power factor

The power factor measurement shall be made as part of the load characteristic test, see 10.3.3.2.

10.3.3.9 Checking of auxiliary devices

The function of all auxiliary devices that are not completely tested shall be checked. Examples of such devices are: motor fans, lubricating oil, external circuit breakers, disconnect switches, etc.

NOTE If convenient this can be done while performing the light load test, see 10.3.3.1.

10.3.3.10 Checking co-ordination of protective devices

The checking of these devices shall be done, as far as possible, without stressing the components of the equipment above their rated value. Reduced settings are recommended in order to obtain reduced stresses.

Due to the wide variety of protective devices, the details should be worked out in the test procedure to be followed. The following should be included as a minimum:

- a) verification of the emergency stop function, if applicable;
- b) test/simulation of all alarm and tripping functions, especially
 - over-speed,
 - overvoltage,
 - overload;
- c) loss of speed feedback;
- d) earth fault;
- e) test of current/torque limiting functions.

10.3.3.11 Checking properties under unusual service conditions

Unusual service conditions are mainly environmental conditions, such as temperature, humidity, salty air, altitude, etc. beyond IEC standard specifications for the relevant equipment.

Such conditions might require special design or rating criteria or extra protective coating, etc. and shall be specified by the customer in his request. Corrective measures and test criteria shall contractually be agreed upon.

10.3.3.12 Courant d'arbre/isolément de paliers

Les harmoniques de tension et de courant et les effets de mode commun dans le moteur peuvent avoir des courants d'arbre pour conséquence. Bien que ces courants soient de faible amplitude, ils peuvent être à l'origine de détériorations des paliers anti-friction ou à roulements. Il est souhaitable que le fournisseur du système et l'acheteur conviennent de la méthode de détection.

10.3.3.13 Bruit audible

L'essai doit être exécuté conformément à l'ISO 1680 et à la CEI 60034-9.

NOTE Des niveaux de bruits audibles faibles peuvent rendre nécessaire un écran acoustique externe.

10.3.3.14 Pulsation de couple

Les niveaux relatifs de pulsation de couple d'entrefer peuvent être établis par un essai à vide en mesurant la vitesse et/ou le courant, à condition de pouvoir disposer des appareils de mesure de sensibilité et de dynamique appropriés. De manière idéale, il convient de mesurer les pulsations de couple d'entrefer apparaissant sur un PDS spécifique, avec l'inertie connue, la charge de l'entraînement appropriée et l'accouplement mécanique au moyen d'un couplemètre monté sur l'arbre. Il est alors possible de calculer les pulsations de couple d'entrefer.

10.3.3.15 Essai de vibrations du moteur

Les essais de vibration doivent être exécutés conformément à la CEI 60034-14 et pour les mêmes points de fonctionnement que ceux utilisés à la caractéristique de charge. Voir 10.3.3.2.

10.3.3.16 Essai de CEM

Les essais de CEM sont définis dans la CEI 61800-3.

10.3.4 Définition des essais de performances dynamiques

10.3.4.1 Limitation de courant et boucle de courant

Ces essais caractérisent la performance dynamique du convertisseur ou de l'entraînement, indépendamment des matériels entraînés.

Une variation incrémentale de la charge, ou un échelon de référence vitesse, est appliquée de façon à ce que le convertisseur atteigne sa limitation de courant prédéfinie. Le temps de montée du courant, l'amplitude du dépassement, sa durée et son amortissement peuvent être analysés à la demande.

On peut utiliser l'analyse harmonique et la bande passante pour établir la réponse entre la référence courant et le retour courant.

Il convient d'exécuter ces essais aux mêmes points de fonctionnement que ceux utilisés pour les essais à la caractéristique de charge, voir 10.3.3.2.

10.3.4.2 Boucle de vitesse

Un échelon en référence vitesse, à vide ou à faible charge, est choisi correctement puis appliqué pour mesurer la réponse temporelle en vitesse. Il convient que l'échelon n'entraîne pas le passage en limitation de courant.

10.3.3.12 Shaft current/bearing insulation

Shaft currents may result due to common mode effects and harmonics in the motor voltage and current. While these currents are small in magnitude, they may cause damage to either anti-friction or sleeve bearings. Testing methods for their presence should be agreed upon by the system supplier and the customer.

10.3.3.13 Audible noise

The tests shall be performed in accordance with ISO 1680 and IEC 60034-9.

NOTE Low audible levels might require an outer sound suppression hood.

10.3.3.14 Torque pulsation

Relative levels of air gap torque pulsation may be measured under no load conditions using speed and/or current measurements, providing that adequately sensitive and dynamic measuring devices are at hand. Ideally, air gap torque pulsation arising within a specific PDS should be measured with known load inertia, proper load and PDS mechanical coupling with a shaft mounted torque sensing equipment. Then it is possible to calculate the air gap torque pulsations.

10.3.3.15 Motor vibrations

The vibration tests shall be performed in accordance with IEC 60034-14 and at the same load points as the load characteristic test, see 10.3.3.2.

10.3.3.16 EMC tests

EMC tests are defined in IEC 61800-3.

10.3.4 Dynamic performance tests

10.3.4.1 Current limit and current loop

These tests characterize the dynamic performance of the converter or the drive independently of the driven equipment.

An incremental load change or speed reference step is provided to require the converter to reach its pre-set current limit point. The rise time of the current, the overshoot magnitude, duration, and damping characteristics can be analyzed as required.

Loop bandwidth and harmonic analysis, can be used to establish the response between current reference and current measurement (feedback).

These tests should be performed at the same speed points as the load characteristics test, see 10.3.3.2.

10.3.4.2 Speed loop

A step in speed reference at no load or light load will be provided and correctly selected to measure the speed response. The step should not activate the current limit.

Un échelon de charge de faible amplitude peut être appliqué pour mesurer la réponse en vitesse en fonction de la charge. Il convient que l'échelon n'entraîne pas le passage en limitation de courant.

Il convient d'exécuter ces essais aux mêmes points de fonctionnement que ceux utilisés pour les essais à la caractéristique de charge, voir 10.3.3.2.

10.3.4.3 Redémarrage automatique et réaccélération

Ces fonctions doivent être vérifiées si elles sont spécifiées par l'acheteur.

10.3.5 Essai en opposition

L'essai en opposition nécessite de disposer d'un deuxième entraînement de caractéristiques appropriées. Dans l'essai en opposition, l'un des entraînements fonctionne en moteur, l'autre fonctionne en générateur. La figure 24 montre le schéma de l'essai en opposition.

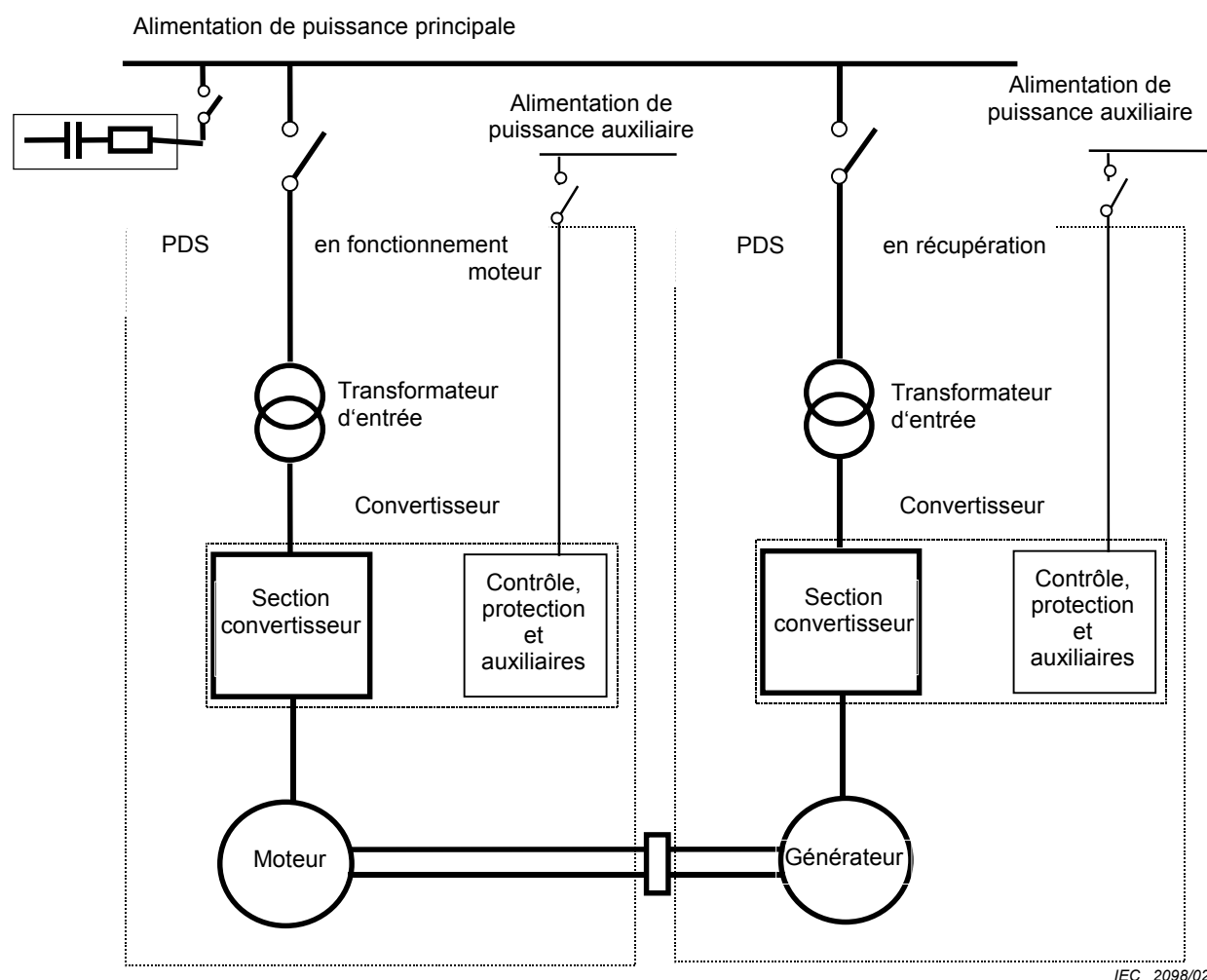


Figure 24 – Schéma de l'essai en opposition

A small load step may be provided in order to measure the speed response versus the load. The step should not activate the current limit.

These tests should be performed at the same speed points as the load characteristics test, see 10.3.3.2.

10.3.4.3 Automatic restart – re-acceleration

These functions shall be checked if specified by the customer.

10.3.5 Back-to-back test

The back-to-back test requires a second PDS of appropriate characteristics. In the back-to-back test, one PDS operates as motor, and the other operates as generator. Figure 24 shows the test scheme of the back-to-back test.

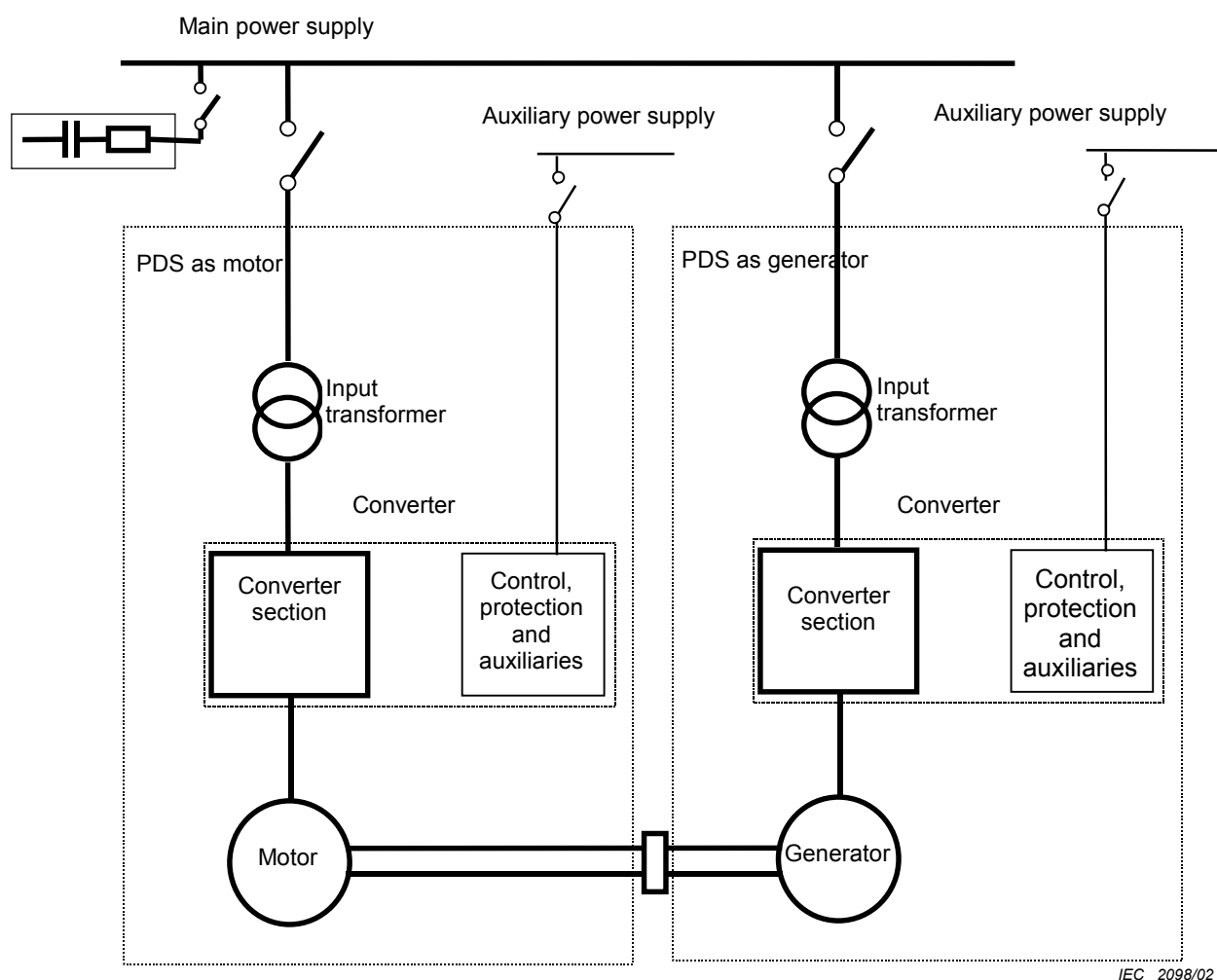


Figure 24 – Back-to-back test

10.3.6 Essai à facteur de puissance nul

Dans le cas des convertisseurs en source de courant et avec l'accord de l'acheteur ou de son représentant, un essai à facteur de puissance nul peut être pratiqué à la place de l'essai effectif de l'entraînement.

Dans l'essai à facteur de puissance nul, le convertisseur fournit le courant assigné ou le courant de surcharge au moteur synchrone essayé sous condition de facteur de puissance nul et sans charge mécanique.

Dans ce cas, l'essai du convertisseur au courant assigné, l'essai au courant de surcharge, l'essai d'échauffement, la détermination des pertes, la vérification des propriétés de l'équipement de contrôle et la vérification des dispositifs de protection peuvent être exécutés dans des conditions pratiques adaptées.

11 Détermination du rendement

11.1 Généralités

Il y a deux approches pour déterminer le rendement global de l'entraînement: la méthode des pertes séparées et l'essai du système à pleine charge. Dans la première approche, les pertes de chaque sous-ensemble sont déterminées séparément en tant que somme des pertes individuelles, avec d'une part l'hypothèse d'une onde idéale sinusoïdale telle que spécifiée dans les normes CEI pertinentes (voir tableau 9), et d'autre part les pertes supplémentaires dues aux tensions et courants non sinusoïdaux. Les pertes totales de l'entraînement sont la somme des pertes de tous les sous-ensembles.

La deuxième approche permet la détermination des pertes véritables du système dans sa configuration de fonctionnement prévu. On peut appliquer deux catégories de méthodes dans cette approche.

- a) La détermination des pertes par mesure directe de la puissance d'entrée et de la puissance de sortie. Cette méthode nécessite des mesures de grande précision de la puissance en entrée et de la puissance en sortie du système (ou de chacun de ses composants si nécessaire), la puissance de sortie peut être mesurée au moyen d'une machine de charge étalonnée (voir 11.3).
- b) La mesure directe des pertes. Cette mesure peut être pratiquée essentiellement au moyen des essais en opposition (s'il est possible de les appliquer, (voir 10.3.5) ou au moyen d'une méthode calorimétrique.

La mesure directe des pertes, méthode b), fournit des résultats de plus grande précision et est préférable dans le cas des systèmes caractérisés par leur fort rendement.

Le fournisseur du système et l'acheteur doivent convenir, dans le contrat et la commande, de la méthode à utiliser et des points de mesure.

La formule générale de calcul du rendement d'un sous-système ou du système d'entraînement total est:

$$\text{Rendement } (\eta) \% = \frac{\text{puissance sortie } (P_{\text{out}})}{\text{puissance entrée } (P_{\text{in}})} \times 100$$

$$\text{Rendement } (\eta) \% = \frac{[\text{puissance entrée} - \text{pertes}] (P_{\text{in}} - P_{\text{loss}})}{\text{puissance entrée } (P_{\text{in}})} \times 100$$

10.3.6 Zero power factor test

Based on agreement between the system supplier and the customer, a zero power factor test can be performed for current source converters instead of actual drive system tests.

A zero power factor test means that the converter supplies the rated or overload current to the synchronous motor under test at the condition of zero power factor without mechanical load.

In this case, the converter rated current test, the overload capability test, the temperature rise test, the power loss determination, the checking of the properties of the control equipment and the checking of the protective devices, can be performed in an appropriate practical test.

11 Efficiency determination

11.1 General

Two approaches can be taken to determine the total drive efficiency: the segregated loss method and the system full load test. With the first approach, the losses of the individual system components are determined separately as the sum of the individual losses, assuming ideal fundamental sinusoidal waveforms, as specified in the relevant IEC standards (see table 9), plus the additional losses due to non-sinusoidal voltage and current waveforms. Total drive system losses are the sum of all individual component losses.

The second approach allows the determination of the true losses of the system, which is configured to work in its intended operating conditions. Two categories of methods are applicable to follow this approach.

- a) The determination of losses by direct measurement of the input and the output power. This method requires highly accurate measurements of the power in the input and the output sections of the system (or of each of its components, if required), output power can be measured by means of a calibrated load machine (see 11.3).
- b) The direct measurement of losses. This measurement can be accomplished essentially by using a back-to-back configuration if applicable (see 10.3.5) or by means of the calorimetric method.

By directly measuring the losses, method b) gives more accurate results, and is preferable in the case of systems characterized by high efficiency values.

The system supplier and customer shall agree in the contract and order which method to use and the load points to be measured.

The general efficiency formula both for individual system components and the complete drive system is:

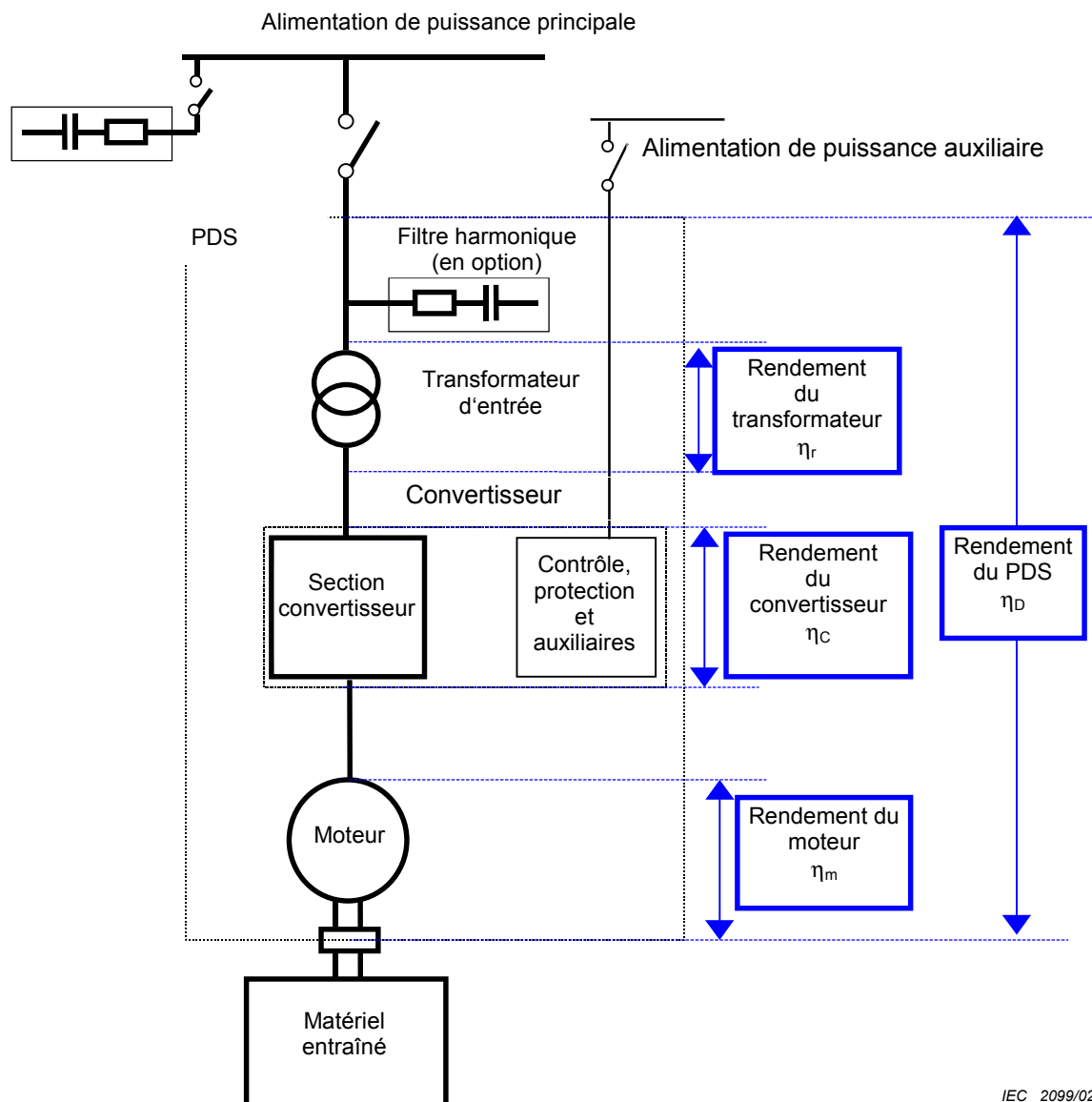
$$\text{Efficiency } (\eta) \% = \frac{\text{output power } (P_{\text{out}})}{\text{input power } (P_{\text{in}})} \times 100$$

$$\text{Efficiency } (\eta) \% = \frac{[\text{input power} - \text{losses}] (P_{\text{in}} - P_{\text{loss}})}{\text{input power } (P_{\text{in}})} \times 100$$

$$\text{Rendement } (\eta) \% = \frac{\text{puissance sortie } (P_{\text{out}})}{[\text{puissance sortie} + \text{pertes}] (P_{\text{out}} + P_{\text{loss}})} \times 100$$

On choisit parmi ces trois formules en fonction des points de mesure. Généralement, on obtient une meilleure précision en déterminant les pertes individuelles et en utilisant la deuxième ou la troisième formule. Normalement, on néglige les pertes des câbles qui ne sont pas fournis par le fournisseur du système.

NOTE Il convient de choisir les appareils de mesure avec le plus grand soin. Il convient que les appareils mesurent la valeur efficace vraie avec une bande passante suffisante pour inclure les harmoniques jusqu'au rang 40, et une précision suffisante pour permettre la détermination des pertes totales à 7 % près (voir 6.1.4), et à 10 % près pour les pertes de chaque composant principal.



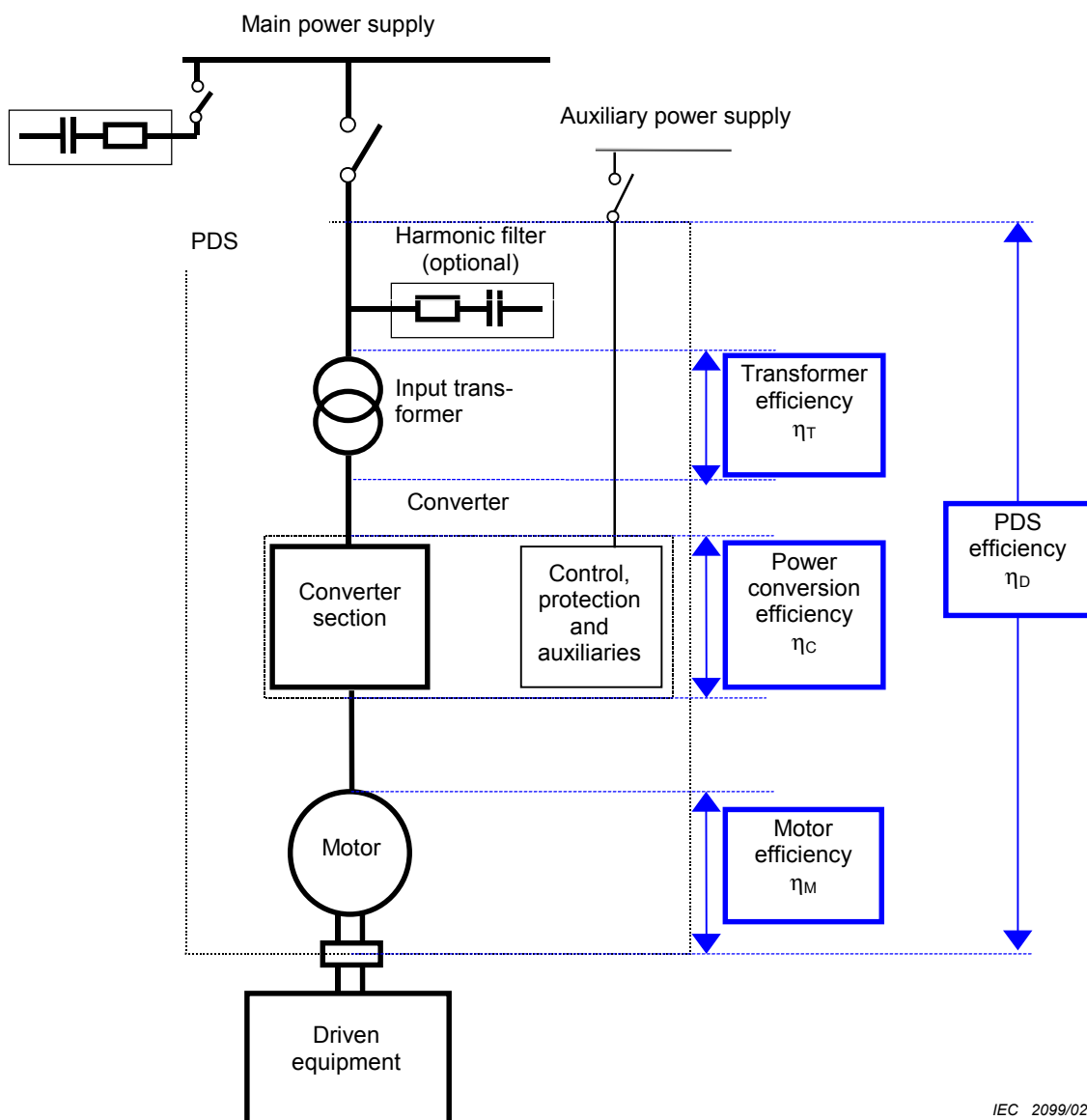
IEC 2099/02

Figure 25 – Configuration matérielle du PDS et rendement individuel de chaque composant

$$\text{Efficiency } (\eta) \% = \frac{\text{output power } (P_{\text{out}})}{[\text{output power} + \text{losses}] (P_{\text{out}} + P_{\text{loss}})} \times 100$$

A choice between these three formulae is determined by the available measuring points. A generally higher accuracy is achieved by determining the individual losses based on the use of the second or third formula. In this case, the cable losses are normally neglected because they are often not under the system supplier's control.

NOTE Great care should be taken in choosing the instruments. The instruments should measure true r.m.s. with sufficient bandwidth to include harmonics up to 40th, and a sufficient accuracy to allow the losses to be determined within a 7 % total tolerance (see 6.1.4), and respectively 10 % for each main component.



IEC 2099/02

Figure 25 – PDS hardware configuration and individual component efficiency

La définition du rendement de chaque constituant est donnée ci-dessous:

- rendement du transformateur: entre le point de couplage et les bornes d'entrée du convertisseur, voir 11.2.2;
- rendement de la conversion de puissance: voir 3.1.6;
- rendement du moteur: entre les bornes électriques et la sortie mécanique, voir 11.2.4;
- rendement du PDS: voir 3.1.5.

11.2 Méthode des pertes séparées

11.2.1 Généralités

On doit utiliser les normes CEI pertinentes pour les constituants individuels de l'entraînement, transformateurs, bobines d'inductance, moteurs et convertisseurs. De plus, le constructeur doit calculer les pertes supplémentaires dues aux formes d'onde de tension et de courant non sinusoïdales. Il convient que ces méthodes soient vérifiées par des mesures sur des constituants individuels de conception et de calibre similaires.

Dans les cas où, par conception, ou faute de temps ou pour toute autre raison, il n'existe pas de méthodes de calcul vérifiées, les paragraphes suivants fournissent des formules empiriques des pertes supplémentaires dues aux harmoniques. Les pertes supplémentaires dues aux courants et tensions harmoniques sont données par des coefficients multiplicateurs fixes des pertes au régime fondamental. Ces coefficients ne doivent être utilisés que si on ne dispose pas de données plus fiables.

NOTE Il convient que les pertes déterminées par cette méthode ne soient utilisées, faute de mieux, que pour calculer le rendement, et ne soient pas utilisées pour déterminer les échauffements.

11.2.2 Pertes du transformateur

Les exigences particulières des transformateurs de convertisseurs sont traitées dans la CEI 60146-1-3 et la CEI 61378-1. Ces normes se réfèrent à la CEI 60076 et à la CEI 60726 en ce qui concerne les transformateurs d'usage général, respectivement à refroidissement liquide et à refroidissement à air. Les pertes cuivre et les pertes fer au régime fondamental, aussi bien que les pertes supplémentaires et les pertes auxiliaires pertinentes doivent être déterminées conformément à ces normes.

Sauf accord contraire, il convient de déterminer les pertes harmoniques sur la base des hypothèses suivantes relatives à un transformateur alimentant un redresseur à diodes ou à thyristors. La distorsion en tension aux bornes du transformateur est faible comparée à la distorsion en courant. Des pertes complémentaires apparaissent donc principalement dans les enroulements, et dépendent fortement de la conception de ces bobinages. Les pertes complémentaires harmoniques $P_{h,1}$ doivent alors être calculées selon les formules ci-dessous:

$$P_{h,1} = k_1 \times P_{Cu,1}$$

où

$k_1 = 0,3$ si le courant résultant de bobinage est d'indice de pulsation 6 ou inférieur;

$k_1 = 0,2$ si le courant résultant de bobinage est d'indice de pulsation 12 ou supérieur;

P_{Cu} représente les pertes cuivre du bobinage au fondamental.

Ce coefficient tient également compte des pertes supplémentaires. Les pertes totales du transformateur P_{total} sont:

$$P_{total} = P_1 + P_{h,1} + P_x$$

The definition of the individual PDS component efficiency is as follows:

- transformer efficiency from the point of coupling to the converter input terminals, see 11.2.2.
- power conversion efficiency see 3.1.6
- motor efficiency from electrical input terminals to mechanical output, see 11.2.4.
- PDS efficiency see 3.1.5

11.2 Segregated loss method

11.2.1 General

The relevant IEC standards for the individual components of the drive system, transformers, reactors, motors and converters shall be used. In addition, the manufacturers shall calculate the additional losses due to the non-sinusoidal voltage and/or current shape. These methods should be verified by measurements on individual components of similar design and ratings.

For cases where due to design, time, or other reasons verified calculation methods are not available, the following subclauses present empiric formulas for the additional harmonic losses. The additional losses caused by harmonic currents and voltages are then given as fixed multipliers of the fundamental losses. These multipliers shall only be used if more reliable data is not at hand.

NOTE The losses determined by this method should as fall-back be used for efficiency calculations only, and should not be used to determine temperature rises.

11.2.2 Transformer losses

Special requirements for converter transformers are treated in IEC 60146-1-3 and

IEC 61378-1. These standards refer to IEC 60076 and IEC 60726 for general liquid cooled and direct air cooled transformers respectively. Fundamental iron and copper losses as well as the relevant stray losses and auxiliary losses shall be determined according to these standards.

Unless otherwise agreed, the determination of harmonic losses should be based on the following assumptions regarding the input transformers feeding diode or thyristor bridges. The transformer voltage distortion is small compared to the current distortion. The additional losses therefore occur mainly in the windings, and are heavily dependent on the design of these windings. The additional harmonic losses $P_{h,1}$ shall be calculated as:

$$P_{h,1} = k_1 \times P_{Cu,1}$$

where

$k_1 = 0,3$ if the winding current is 6-pulse or lower, or

$k_1 = 0,2$ if the resulting winding current is 12-pulse or higher;

P_{Cu} represents transformer winding copper losses fundamental component.

This factor also includes additional stray losses. The values can be substantially lower for an optimized design of the transformer. The total transformer losses P_{total} are:

$$P_{total} = P_1 + P_{h,1} + P_x$$

où P_1 représente les pertes au régime fondamental selon la CEI 60146-1-3;
et P_x sont les pertes auxiliaires s'il y en a.

11.2.3 Convertisseur de puissance

11.2.3.1 Généralités

Le convertisseur est normalement constitué d'un redresseur d'entrée à commutation assistée par le réseau d'indice de pulsation 6 ou 12, d'un filtre intermédiaire composé de bobines d'inductance et/ou de condensateurs et d'un onduleur de sortie. L'onduleur est soit du type source de courant à commutation assistée par la charge, soit du type source de tension à modulation de largeur d'impulsion.

Les pertes du convertisseur comprennent généralement:

- les pertes des semi-conducteurs en conduction (voir annexe C);
- les pertes des semi-conducteurs en commutation (voir annexe C);
- les pertes des circuits de protection (aide à la commutation) (voir annexe C);
- les pertes des filtres du convertisseur;
- les pertes des auxiliaires;
- les alimentations stabilisées des circuits de contrôle et de protection, etc.;
- les ventilateurs et/ou pompes du circuit de refroidissement.

Les composants et la détermination des pertes sont décrits dans la CEI 60146-1-1 et dans la CEI 60146-1-2, de plus se reporter à l'annexe C pour le calcul spécifique des pertes des semi-conducteurs de puissance et de leur circuits d'aide à la commutation.

Des équipements, sources de pertes auxiliaires, peuvent être communs aux parties redresseur et onduleur.

11.2.3.2 Redresseur

Les pertes doivent être déterminées pour la charge assignée (de base) et à l'angle d'allumage assigné (de base), ainsi qu'à la charge maximale et à l'angle d'allumage correspondant s'ils sont différents.

11.2.3.3 Onduleur

Dans le cas d'un onduleur à commutation assistée par la charge, les pertes sont principalement de même nature que pour le redresseur et ce sujet est couvert par la CEI 60146-1-1 et la CEI 60146-1-2. Les pertes doivent être déterminées pour la charge assignée (de base) et à l'angle d'allumage assigné (de base), ainsi qu'à la charge maximale et à l'angle d'allumage correspondant s'ils sont différents.

Les convertisseurs à commutation forcée sont traités dans la CEI 60146-2.

Les pertes doivent être déterminées à la charge assignée (de base) et à la charge maximale si elles sont différentes, dans les deux cas avec le format de modulation de largeur d'impulsion associé.

11.2.3.4 Inductances de la liaison intermédiaire à courant continu

Les spécifications des bobines d'inductance sont données dans la CEI 60146-1-3.

Il convient que les pertes incluant les composantes harmoniques soient calculées à partir de méthodes vérifiées. Si de telles méthodes n'existent pas on peut, faute de mieux, utiliser les facteurs ci-dessous.

where

P_1 represents the fundamental losses according to IEC 60146-1-3

P_x are auxiliary losses, if any.

11.2.3 Power converter

11.2.3.1 General

The converter normally consists of an input 6- or 12-pulse line commutated rectifier, an inter-stage filter consisting of reactors and/or capacitors and an output inverter. The inverter is either of the current source load commutated type, or the voltage source pulse width modulated type.

Converter losses generally comprise:

- semiconductor conducting losses (see annex C);
- semiconductor switching losses (see annex C);
- protective devices (snubber) losses (see annex C);
- converter filters;
- auxiliary losses;
- power supplies for control and protection devices etc.;
- fans and/or pumps for the cooling medium.

The components and the determination of losses are described in IEC 60146-1-1 and IEC 60146-1-2, and additionally see annex C for specific power semiconductor and snubber loss calculation.

Equipment causing auxiliary losses may be common to both rectifier and inverter parts.

11.2.3.2 Rectifier

The losses shall be determined at rated (base) load and rated (base) firing angle, and at maximum load and associated firing angle, if different.

11.2.3.3 Inverter

If the inverter is load commutated, the losses are mainly the same as for the rectifier, and the item is covered by IEC 60146-1-1 and IEC 60146-1-2. The losses shall be determined at the rated (base) load and the rated (base) firing angle, and at the maximum load and associated firing angle, if these are different.

Self-commutated inverters are covered by IEC 60146-2.

The losses shall be determined at the rated (base) load and at the maximum load, if different, both with the correct associated PWM pattern.

11.2.3.4 DC link reactor

Specifications for reactors are found in IEC 60146-1-3.

Losses including harmonic components should be calculated based on verified methods. If such methods are not available, the factors below can be used as fall-back.

Les pertes complémentaires dues à l'ondulation de courant sur la base du courant assigné de la liaison intermédiaire doivent être calculées comme suit:

$$P_{h,2} = k_2 \times I^2 R_{d.c.}$$

où

$k_2 = 0,10$ pour des bobines à air;

$k_2 = 0,15$ pour des bobines à noyau de fer;

$R_{d.c.}$ représente la résistance correspondant aux pertes cuivre en courant continu.

Cette formule s'applique aux bobines d'inductance des onduleurs en source de courant (CSI) et aux bobines d'inductance des onduleurs en source de tension (VSI).

11.2.3.5 Condensateurs de la liaison intermédiaire à courant continu

Les pertes des condensateurs sont normalement négligeables.

11.2.3.6 Autres pertes

Les pertes auxiliaires dues au circuits de protection, refroidissement, etc. doivent être ajoutées séparément.

11.2.4 Pertes du moteur

11.2.4.1 Généralités

Conformément à la CEI 60034-2, il existe deux méthodes de mesure des pertes séparées:

- piloter le moteur en essai au moyen d'un moteur étalonné;
- raccorder le moteur à une source de tension sinusoïdale ajustable.

La première alternative est normalement mieux adaptée aux moteurs synchrones, tandis que la seconde est mieux adaptée aux moteurs à induction. Cependant, si seule la tension est ajustable alors que la fréquence est fixe, il n'est possible de déterminer le rendement qu'à une seule vitesse donnée par la fréquence d'alimentation.

Les deux méthodes permettent de déterminer individuellement les pertes suivantes:

- pertes mécaniques et pertes de ventilation;
- pertes fer;
- pertes de l'enroulement stator (pertes cuivre);
- pertes rotor.

Les pertes d'excitation et les pertes auxiliaires, telles que pompes de lubrification à huile et ventilateurs indépendants, en fonction de la structure de l'entraînement, doivent également être ajoutées au moyen de mesures.

11.2.4.2 Moteurs à simple enroulement

Les méthodes pour déterminer le rendement des moteurs fonctionnant avec des tensions et des courants sinusoïdaux purs sont données dans la CEI 60034-2. De plus, il existe des méthodes pour prendre en compte les pertes harmoniques dans l'annexe A de la CEI 60034-2.

Based on the rated d.c. link direct current, the additional losses caused by the ripple current shall be calculated as follows:

$$P_{h,2} = k_2 \times I^2 R_{d.c.}$$

with

$k_2 = 0,10$ for air cores;

$k_2 = 0,15$ for iron cores;

$R_{d.c.}$ representing the resistance corresponding to copper losses for d.c. current.

This formula is applicable for reactors in CSI and for reactors in VSI.

11.2.3.5 DC link capacitor

Capacitor losses are normally negligible.

11.2.3.6 Other losses

Other losses due to auxiliary circuits, protective devices, cooling etc. shall be included separately.

11.2.4 Motor losses

11.2.4.1 General

Two alternative segregated test methods exist in accordance with IEC 60034-2:

- driving the motor to be tested by a calibrated motor;
- connecting the motor to an adjustable sinusoidal voltage source.

The first alternative is normally most convenient for synchronous motors and the second most convenient for induction motors. However, if only the voltage is adjustable, and not the frequency, it is only possible to determine the efficiency at one speed, given by the supply frequency.

Both alternatives make it possible to determine the following individual loss components:

- friction and ventilation losses;
- core losses;
- stator winding losses ($I^2 R$ losses);
- rotor losses.

Excitation losses and auxiliary losses such as lubrication oil pumps and independent ventilators, as relevant, shall also be included by measurements.

11.2.4.2 Single winding motors

The methods for determining the efficiency of motors operating with pure sinusoidal voltages and currents are given in IEC 60034-2. In addition, provisional methods for taking into account harmonic losses are included in annex A of IEC 60034-2.

11.2.4.3 Moteurs à double enroulement

Si le déphasage entre les enroulements triphasés est nul, pour les essais ceux-ci peuvent être raccordés en parallèle, les deux alternatives sont alors possibles.

Si les enroulements triphasés ont un déphasage relatif, et si les deux extrémités des enroulements ne sont pas disponibles pour permettre leur raccordement en série, la seule solution possible pour réaliser les essais est l'utilisation d'un moteur étalonné, dans la mesure où il est peu probable de pouvoir disposer de sources de puissance ajustables et déphasées.

Lors des mesures en court-circuit, il convient que les deux enroulements triphasés soient court-circuités indépendamment.

11.2.4.4 Pertes harmoniques

Sauf accord contraire explicite, il convient de déterminer les pertes harmoniques sur la base des hypothèses suivantes. De même que pour les transformateurs, les pertes complémentaires dues aux harmoniques interviennent essentiellement dans les bobinages (bobinage stator et rotor du moteur).

Dans le cas où le courant est de forme d'onde quasi rectangulaire, il convient d'estimer les pertes harmoniques complémentaires $P_{h,3}$ par:

$$P_{h,3} = m \cdot k_3 \cdot I_1^2 \cdot R_{M,1}$$

où

m est le nombre de phases;

$k_3 = 0,15$ pour des enroulements triphasés;

$k_3 = 0,10$ pour des enroulements hexaphasés.

Les moteurs à induction alimentés à partir d'un onduleur en source de tension conduisent à des situations bien plus complexes qui dépendent de la méthode de modulation, de son format et de la conception du moteur, en particulier de la cage du rotor. Faute de mieux, il convient d'utiliser les valeurs suivantes:

$k_3 = 0,10$ dans le cas d'une modulation sinusoïdale et pour la plage de vitesse jusqu'à 80 % de la vitesse assignée ou dans le cas des convertisseurs à modulation de largeurs d'impulsion et à trois niveaux;

$k_3 = 0,20$ dans le cas de modulation au-delà de 80 % de la vitesse assignée avec au moins six impulsions par période fondamentale;

$k_3 = 0,30$ dans le cas de grande vitesse sans modulation, c'est-à-dire fonctionnement en pleine onde.

L'application de la formule fournissant $P_{h,3}$ n'est valable qu'au courant assigné (I_{N1}), du fait que le résidu harmonique en courant est pratiquement indépendant de la charge dans le cas des convertisseurs en source de tension.

$R_{M,1}$ dans l'équation ci-dessus est alors la résistance résultante d'une phase du stator ($R_{S,1}$) et d'une phase du rotor ($R_{R,1}'$) ramenée au bobinage stator, à la fréquence fondamentale.

$$R_{M,1} = R_{S,1} + R_{R,1}'$$

Les coefficients assignés k_3 tiennent compte des pertes complémentaires harmoniques, et des pertes supplémentaires en charge.

11.2.4.3 Dual winding motors

If the phase shift between the three-phase-windings is zero, the windings can be connected in parallel for testing, and both alternatives are possible.

If the three-phase systems have a mutual phase shift, and if both ends of the windings are not available for a series connection of the windings, the only means of testing is driving the motor by a calibrated motor, because adjustable power sources with a phase shift are unlikely to be available.

During the short-circuit measurements, the two three-phase windings should be shorted independently.

11.2.4.4 Harmonic losses

Unless otherwise agreed the determination of harmonic losses should be based on the following assumptions. In a similar manner as for transformers, the additional harmonic losses occur mainly in the windings (the stator and the rotor windings of the motor).

If the shape of the current is a quasi-square wave, the additional harmonic losses $P_{h,3}$ should be estimated as:

$$P_{h,3} = m \times k_3 \times I_1^2 \times R_{M,1}$$

with

m as the number of phases;

$k_3 = 0,15$ for three-phase winding;

$k_3 = 0,10$ for six-phase winding.

With respect to induction motors fed from voltage source converters, the situation is far more complex, depending on modulation method, pulse pattern and motor design, especially the rotor cage. As a fall-back, the following factors should be used:

$k_3 = 0,10$ for sinusoidal PWM in a range up to 80 % of the rated speed or for three-level PWM converters;

$k_3 = 0,20$ for PWM above 80 % of the rated speed and at least six pulses per fundamental period;

$k_3 = 0,30$ at high speed without PWM, i.e. in a six-step operation.

Application of the formula giving $P_{h,3}$ is only valid for the rated current (I_{N1}), because the current harmonic content is rather independent of the load for voltage source converters.

In the above equation $R_{M,1}$ is the resulting stator ($R_{S,1}$) and rotor resistance ($R_{R,1}'$), for one phase, referred to the stator winding, at the fundamental frequency.

$$R_{M,1} = R_{S,1} + R_{R,1}'$$

The assigned factors k_3 take into account additional harmonics and stray load losses.

Il convient de déterminer la résistance du rotor vue du stator en mesurant les pertes en court-circuit au courant assigné et rotor bloqué. Dans un moteur à induction à m phases, les pertes stator sont soustraites de la manière suivante:

$$R_R' = \frac{(P_{SC} - mI_N^2 R_S)}{mI_N^2}$$

où I_N est le courant stator assigné.

11.3 Essai du système à pleine charge

11.3.1 Généralités

Il s'agit, sur le plan des principes, de la seule méthode pour obtenir les pertes réelles du système et donc son rendement. Il s'agit aussi de la seule méthode pour mesurer les échauffements réels des composants élémentaires avant la mise en service.

Cette méthode exige une machine de charge ayant au moins la même puissance que celle du moteur de l'entraînement. Il faut mesurer la puissance sur l'arbre au moyen du couple et de la vitesse, ou bien disposer d'une machine de charge étalonnée. Si on dispose de deux entraînements identiques et pouvant fonctionner en récupération, on peut pratiquer un essai en opposition.

Le dispositif d'essai, les symboles et indices, sont indiqués à la figure 23. Les pertes des composants séparés du circuit principal de puissance peuvent être principalement mesurées directement par la somme des différences entre la puissance d'entrée et la puissance de sortie de chacun:

$$P_{\text{loss}} = \sum (P_{\text{in}} - P_{\text{out}}) = (P_L - P_V) + (P_V - P_a) + (P_a - P_S) + P_x$$

En raison des rendements élevés, les pertes résultent de différences faibles entre nombres relativement grands. En conséquence, la deuxième partie de la formule ci-dessus qui indique les mesures individuelles relatives à chaque sous-ensemble principal donne une meilleure précision. Il est souhaitable que la précision des appareils de mesure soit aussi très grande, typiquement de l'ordre de 0,02 % ou mieux, et que leur bande passante aille au moins jusqu'à l'harmonique de rang 40. Des informations complémentaires se trouvent dans l'amendement 2 de la CEI 60034-2.

11.3.2 Pertes du transformateur

En plus des pertes mesurées directement, les pertes du transformateur comprennent, selon le cas, les pertes des auxiliaires telles que ventilateurs ou pompes de circulation du fluide de refroidissement. D'autres pertes auxiliaires, telles que par exemple les pertes supplémentaires des structures et cuve, sont déjà comprises dans P_L .

Le rendement du transformateur est:

$$\eta_T = \frac{P_V}{P_L + P_{\text{Aux}, 1}}$$

Il convient que les pertes du filtre, s'il existe, soient mesurées séparément et ne fassent pas partie des pertes du transformateur.

The rotor phase resistance referred to the stator side should be determined by measuring the short-circuit losses at the rated current and the locked rotor. For a m -phase induction motor, stator losses are calculated as follows:

$$R_R = \frac{(P_{SC} - mI_N^2 R_S)}{mI_N^2}$$

where

I_N is the rated stator current.

11.3 Full load system test

11.3.1 General

Following principles, this is the only way to obtain the real losses of the system and hence the efficiency. It is also the only way to measure the real temperature rises of the individual devices before commissioning.

The method requires a load machine of at least the same power as the drive motor. Shaft power has to be measured either by speed and torque on the shaft, or the load machine has to be calibrated. If two identical regenerative drive units are available, the back-to-back test set-up should be used.

The measuring set-up, symbols and indexes, are shown in figure 23. The main power circuit losses for the individual devices can principally be measured directly by the difference between input and output power:

$$P_{\text{loss}} = \sum (P_{\text{in}} - P_{\text{out}}) = (P_L - P_V) + (P_V - P_a) + (P_a - P_s) + P_x$$

Due to the high efficiencies involved, the resulting losses constitute a relatively small difference between two relatively big figures. Therefore, the second formulation of the above formula, which indicates individual measurement of each main component, gives a higher accuracy. The accuracy of the instruments should also be very high, typically 0,02 % or better, with a bandwidth of up to the 40th harmonic. Additional information is given in IEC 60034-2 amendment 2.

11.3.2 Transformer losses

The transformer losses consist, besides the losses measured directly, of auxiliary losses such as fans or pumps for forced cooling, if relevant. Other auxiliary losses, for example stray losses in the structure and outer hood are already included in P_L .

The transformer efficiency is:

$$\eta_T = \frac{P_V}{P_L + P_{\text{Aux}, 1}}$$

Filter losses should, if relevant, be measured individually, and should not be part of the transformer losses.

11.3.3 Pertes du convertisseur

Des pertes auxiliaires non comprises dans la mesure directe peuvent être:

- selon le cas, ventilateurs et pompes;
- alimentations stabilisées externes.

Le rendement du convertisseur est:

$$\eta_C = \frac{P_a}{P_V + P_{Aux, 2}}$$

11.3.4 Pertes du moteur

Des pertes auxiliaires non comprises dans la mesure directe peuvent être:

- ventilateurs à alimentation externe;
- pompes à alimentation externe affectées au fluide de refroidissement secondaire;
- alimentation du système d'excitation;
- pompes de lubrification à huile externes.

NOTE Seules les pertes de la pompe et du moteur de pompe sont à prendre en compte avec les pertes de transfert extérieur. La puissance utile développée par la pompe est prise en compte dans les pertes de roulement.

Lorsqu'on utilise la méthode d'opposition, la puissance sur l'arbre P_s n'est pas directement mesurée. Les deux machines identiques, l'une fonctionnant en moteur, l'autre fonctionnant en générateur, doivent être ajustées à une tension, un courant et un facteur de puissance aussi voisins que possible entre eux et aussi voisins que possible des valeurs assignées. La valeur moyenne des variables mesurées sur les deux machines doit être considérée comme la valeur de mesure. On doit aussi considérer que les pertes de l'entraînement sont égales à la moitié de la différence entre la puissance P_a entrant dans le moteur et la puissance P'_a sortant du générateur:

$$P_{loss, 3} = \frac{1}{2} \cdot (P_a - P'_a)$$

Le rendement du moteur est:

$$\eta_M = \frac{P_s}{P_a + P_{Aux, 3}} = \frac{P_a - P_{loss, 3}}{P_a + P_{Aux, 3}}$$

11.3.5 Filtre harmonique

Si le filtre harmonique fait partie intégrante de l'entraînement, qu'il soit couplé sur le secondaire du transformateur ou sur un enroulement séparé, les pertes du filtre sont mesurées en tant que partie des pertes du transformateur. Elles pourraient être séparées par des mesurages individuels.

On doit procéder à des mesures individuelles pour vérifier les pertes du filtre dans le cas où le filtre est placé en un endroit quelconque sur le primaire du transformateur.

11.3.3 Converter losses

Auxiliary losses not included in the direct measurements might be:

- cooling fans and pumps as relevant;
- external power supplies.

The resulting converter efficiency is:

$$\eta_C = \frac{P_a}{P_V + P_{Aux, 2}}$$

11.3.4 Motor losses

Auxiliary losses not included in the direct measurements might be:

- externally powered cooling fans;
- externally powered pumps for a secondary cooling medium;
- exciter system power;
- external lubricating oil pumps.

NOTE Only pump and pump motor losses and external transport losses are to be considered. The rest of the pump work is included in the main motor bearing losses.

If the back-to-back method is used, the shaft power P_S is not directly known by measurements. The two identical machines, one operating as a motor and the other as a generator, shall be adjusted as close to the same, normally rated, voltage, current and power factor values as possible. The mean values between the two machines shall be regarded as the measurement parameter. Half of the losses, given as the difference between motor input power P_a and generator output power P'_a , shall be regarded as the drive motor main losses:

$$P_{loss, 3} = \frac{1}{2} \cdot (P_a - P'_a)$$

The motor efficiency is:

$$\eta_M = \frac{P_S}{P_a + P_{Aux, 3}} = \frac{P_a - P_{loss, 3}}{P_a + P_{Aux, 3}}$$

11.3.5 Harmonic filter

If the harmonic filter is an integral part of the drive, either coupled on the secondary side of the transformer or through a separate winding, the filter losses will be measured as part of the transformer losses. They might be separated by individual measurements.

If the filter is placed somewhere on the primary side of the transformer, an individual measurement is required to verify the filter losses.

11.3.6 Rendement global de l'entraînement

Le rendement global de l'entraînement est:

$$\eta_{\text{drive}} = \frac{P_S}{P_L + \sum P_{\text{Aux}}} = \frac{P_a - P_{\text{loss}, 3}}{P_L + \sum P_{\text{Aux}}}$$

NOTE 1 La description de la méthode directe à pleine charge repose seulement sur des mesurages de grandeurs électriques. Dans le cas où on remplace tout ou partie de ceux-ci par des mesurages calorimétriques, il faut aussi prendre en compte des transferts de chaleur mineurs, tels que le rayonnement et la conduction de chaleur entre la carcasse de la machine et la température ambiante, etc.

NOTE 2 Lors de la préparation des protocoles de mesurages ci-dessus, il convient de s'assurer que toutes les pertes auxiliaires sont prises en compte une seule fois.

.....

11.3.6 Total drive system efficiency

The total drive system efficiency is:

$$\eta_{\text{drive}} = \frac{P_{\text{S}}}{P_{\text{L}} + \sum P_{\text{Aux}}} = \frac{P_{\text{a}} - P_{\text{loss},3}}{P_{\text{L}} + \sum P_{\text{Aux}}}$$

NOTE 1 The description of the full load direct method is based on electrical measurements only. If some of these measurements are exchanged with calorimetric measurements, one will have to take into account also minor heat transfers, such as radiated and conducted heat from the machine frame to ambient, etc.

NOTE 2 When planning and preparing protocols for the above measurements, make sure that all auxiliary losses are included, but only once.

Annexe A (informative)

Topologies les plus utilisées pour les entraînements

A.1 Objet

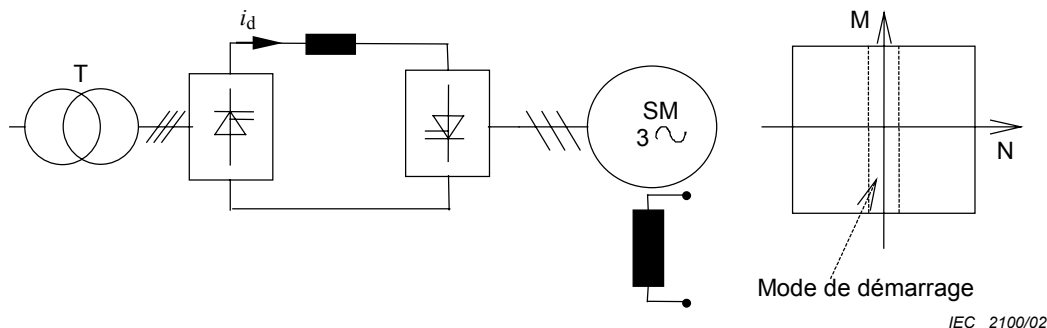
Le but de cette annexe est de montrer les schémas blocs simplifiés des topologies les plus utilisées pour les entraînements. Il convient de se référer à l'article 4 traitant de l'information générale à ce sujet. Il est possible d'ajouter des dispositifs optionnels tels que divers filtres, des transformateurs, un étage de récupération d'énergie, etc.

Les schémas simplifiés utilisent le symbole d'un interrupteur en lieu et place d'un semi-conducteur qui peut être éteint par son signal de commande. Il faut alors noter que si le symbole de cet interrupteur n'est pas associé au symbole d'une diode, il convient que le semi-conducteur correspondant soit capable de tenir la tension inverse.

A.2 Topologies d'entraînements avec convertisseurs indirects

A.2.1 Entraînement à moteur synchrone et onduleur commuté par la charge (LCI)

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.1.



**Figure A.1 – Structure de base d'un entraînement
à moteur synchrone et onduleur de type LCI**

Cet entraînement comporte essentiellement:

- un convertisseur côté réseau à commutation assistée par le réseau;
- un onduleur côté moteur à commutation assistée par la charge;
- une bobine d'inductance dans la boucle intermédiaire à courant continu;
- un moteur synchrone;
- un dispositif d'excitation pour fournir le flux du moteur.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement quatre quadrants;
- un couple pulsateur en dessous d'une vitesse minimale (dans le mode de fonctionnement en démarrage);
- un facteur de puissance faible côté réseau qui dépend de la puissance en entrée.

Annex A (informative)

Most commonly used drive system topologies

A.1 Object

The purpose of this annex is to show the simplified block diagrams of the most used drive system topologies. Clause 4 should be referred to for general information. Optional devices may be added such as different filters, transformers, regenerative units, etc.

The simplified block diagrams use the symbol of a switch for semiconductor switches that can be turned off by its control signal. Note that if there is no diode symbol in parallel of the switch symbol, the semiconductor switch should have reverse blocking capability.

A.2 Drive system topologies with indirect converters

A.2.1 Load commutated inverter (LCI) drive systems with a synchronous motor

The basic structure of the drive is shown in figure A.1.

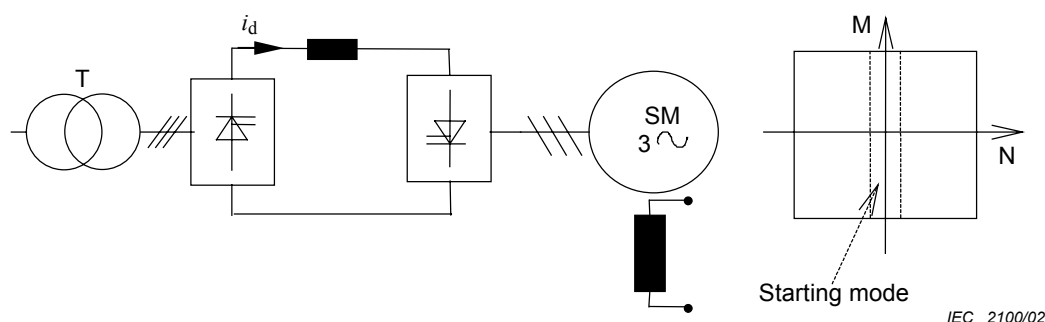


Figure A.1 – Basic structure of an LCI synchronous motor drive system

This drive essentially consists of:

- a line commutated line-side converter;
- a load commutated motor-side converter;
- a d.c. reactor in the d.c. link;
- a synchronous motor;
- an excitation system, supplying the motor field.

The general characteristics of the drive are:

- a four-quadrant operation;
- a pulsating torque below a minimum speed (in starting mode);
- a low line-side power factor, depending on input power.

A.2.2 Entraînement à moteur à induction et onduleur à commutation assistée par la charge

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.2.

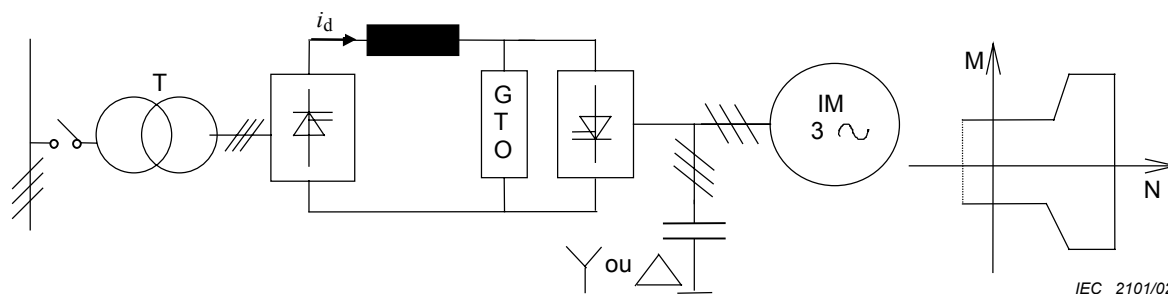


Figure A.2 – Structure de base d'un entraînement avec moteur à induction et onduleur LCI

Cet entraînement comporte essentiellement:

- un convertisseur côté réseau à commutation assistée par le réseau;
- un onduleur côté moteur à commutation assistée extérieurement;
- une bobine d'inductance dans la boucle intermédiaire à courant continu;
- un dispositif dérivateur d'extinction (à GTO);
- un banc de condensateurs de sortie;
- un moteur à induction.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement deux quadrants;
- une ondulation de couple réduite grâce au filtre de sortie approprié;
- un facteur de puissance faible côté réseau qui dépend de la puissance en entrée.

A.2.3 Entraînement avec moteur à induction et onduleur en source de courant (CSI)

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.3.

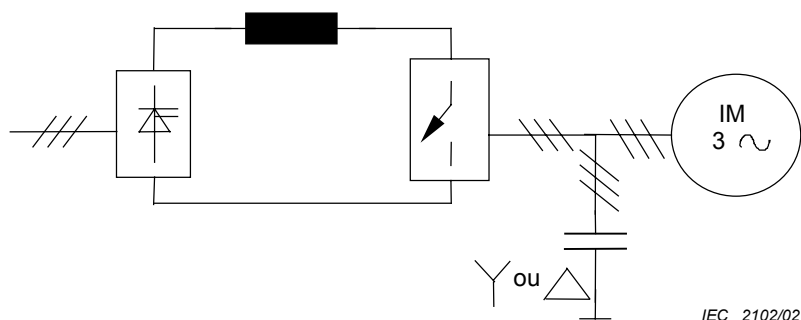


Figure A.3 – Structure de base d'un entraînement avec moteur à induction et onduleur auto-commuté en source de courant et à MLI

Cet entraînement comporte essentiellement:

- un convertisseur côté réseau à commutation assistée par le réseau;
- un onduleur auto-commuté côté moteur;
- une bobine d'inductance dans la boucle intermédiaire à courant continu;

A.2.2 Load commutated inverter drive systems with an induction motor

The basic structure of the drive is shown in figure A.2.

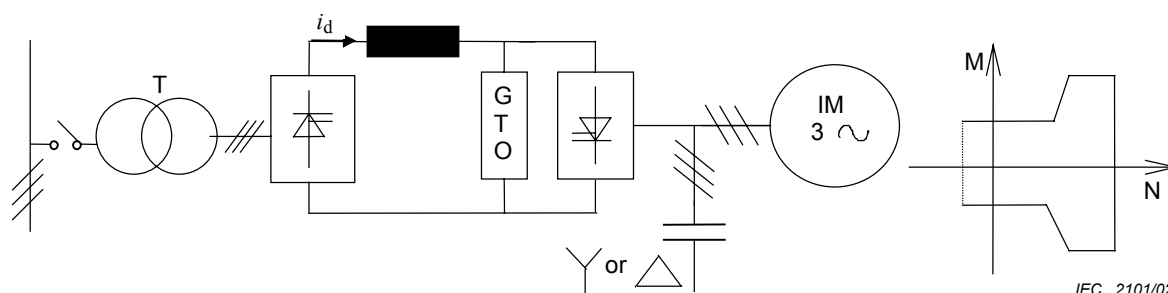


Figure A.2 – Basic structure of an LCI induction motor drive system

This drive essentially consists of:

- a line commutated line-side converter;
- an externally commutated motor-side converter;
- a d.c. reactor;
- a common turn off device (GTO);
- an output capacitor bank;
- an induction motor.

The general characteristics of the drive are:

- a two quadrant operation;
- a reduced motor torque ripple with a proper output filter;
- a low line-side power factor, depending on input power.

A.2.3 Current source inverter (CSI) drive systems with an induction motor

The basic structure of the drive is shown in figure A.3.

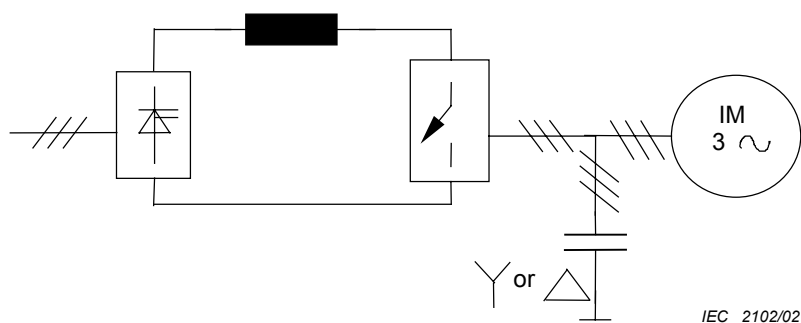


Figure A.3 – Basic structure of a self-commutated PWM-CSI inverter for an induction motor drive system

This drive essentially consists of:

- a line commutated line-side converter;
- a self-commutated motor-side converter;
- a d.c. link reactor;

- un banc de condensateurs de sortie;
- un moteur à induction.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement quatre quadrants;
- une ondulation de couple faible (négligeable dans le cas de commande en MLI);
- un facteur de puissance faible côté réseau qui dépend de la puissance en entrée.

A.2.4 Entraînement avec moteur à induction et double onduleur en source de courant

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.4.

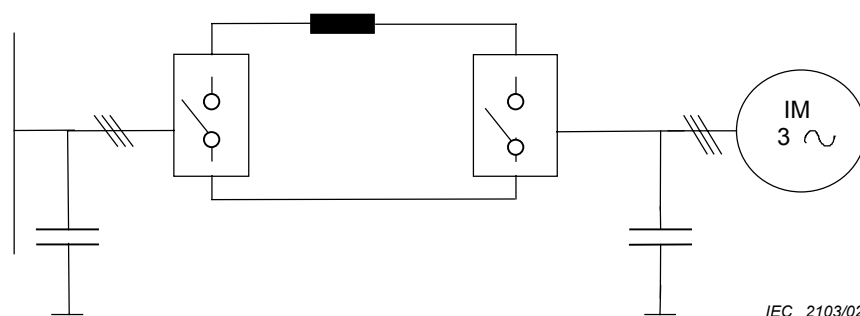


Figure A.4 – Topologie d'un entraînement avec moteur à induction et double onduleur CSI-MLI

Cet entraînement comporte essentiellement:

- un banc de condensateurs d'entrée;
- un convertisseur auto-commuté côté réseau;
- un onduleur auto-commuté côté moteur;
- une bobine d'inductance dans la boucle intermédiaire à courant continu;
- un banc de condensateurs de sortie;
- un moteur à induction.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement quatre quadrants;
- une ondulation de couple faible (négligeable dans le cas de commande en MLI);
- un facteur de puissance côté réseau proche de l'unité
- un résidu harmonique de courant d'entrée réduit.

A.2.5 Entraînement avec moteur synchrone ou moteur à induction et onduleur en source de tension (VSI)

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.5.

- an output capacitor bank;
- an induction motor.

The general characteristics of the drive are:

- a four quadrant operation;
- a low motor torque ripple (negligible if the PWM technique is adopted);
- a low line-side power factor, depending on input power.

A.2.4 Dual current source inverter (CSI) drive systems with an induction motor

The basic structure of the drive is shown in figure A.4.

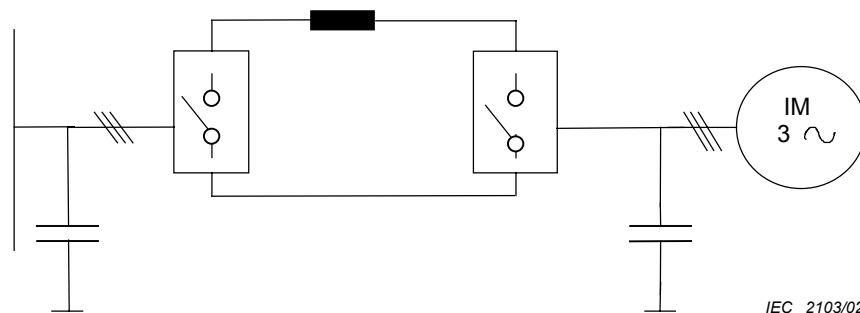


Figure A.4 – Dual CSI-PWM converter topology for induction motor drive system

This drive system essentially consists of:

- an input capacitor bank;
- a self-commutated line-side converter;
- a self-commutated motor-side converter;
- a d.c. reactor;
- an output capacitor bank;
- an induction motor.

The general characteristics of the drive system are:

- a four quadrant operation;
- a low motor torque ripple (negligible if the PWM technique is adopted);
- a near unity line-side power factor;
- a reduced input current harmonic content.

A.2.5 Voltage source inverter (VSI) drive systems with a synchronous or induction motor

The basic structure of the drive system is shown in figure A.5.

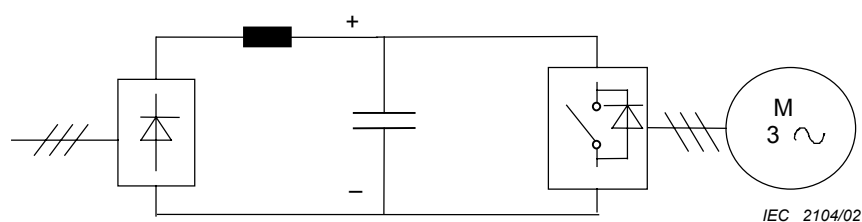


Figure A.5 – Entraînement triphasé avec onduleur en source de tension (VSI)

Cet entraînement comporte essentiellement:

- un redresseur à diodes côté réseau;
- un onduleur auto-commuté côté moteur;
- une bobine d'inductance (si nécessaire);
- un banc de condensateurs dans la boucle intermédiaire à courant continu;
- un moteur synchrone ou un moteur à induction;
- un dispositif d'excitation dans le cas du moteur synchrone.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement deux quadrants;
- une ondulation de couple faible (négligeable dans le cas de commande en MLI);
- un bon facteur de déphasage côté réseau.

A.2.6 Entraînement à moteur synchrone ou à induction et onduleur en source de tension trois niveaux à neutre clampé (NPC)

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.6 et la structure NPC détaillée est donnée à la figure A.7.

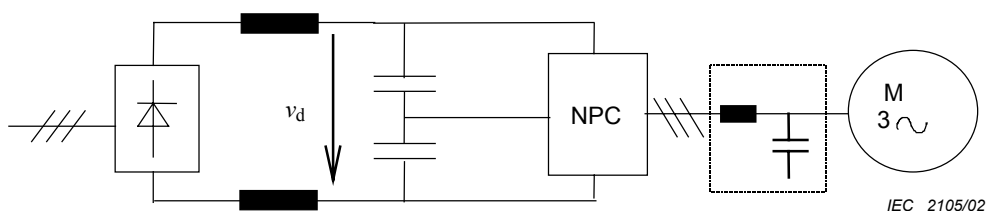


Figure A.6 – Entraînement à onduleur en source de tension NPC

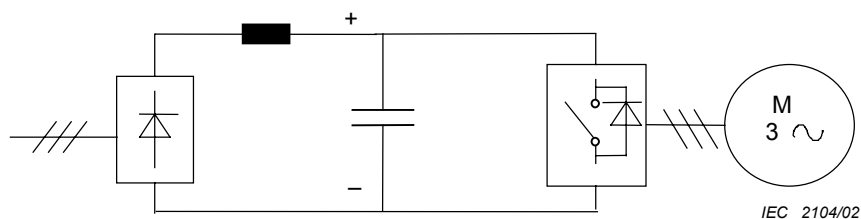


Figure A.5 – Three-phase VSI drive systems

This drive system essentially consists of:

- a diode line-side rectifier;
- a self-commutated motor-side converter;
- a d.c. reactor (if needed);
- a d.c. capacitor bank in the d.c. link;
- a synchronous or induction motor;
- an exciting system, if a synchronous motor is used.

The general characteristics of the drive are:

- a two quadrant operation;
- a low motor torque ripple (negligible if the PWM technique is adopted);
- a high line-side displacement factor.

A.2.6 Voltage source three level, neutral point clamped (NPC) inverter, drive system with a synchronous or induction motor

The basic structure is shown in figure A.6 and the detailed diagram of the NPC structure is given in figure A.7.

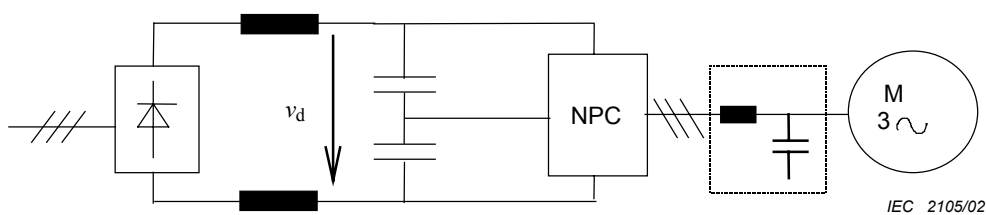


Figure A.6 – Voltage source NPC inverter drive system

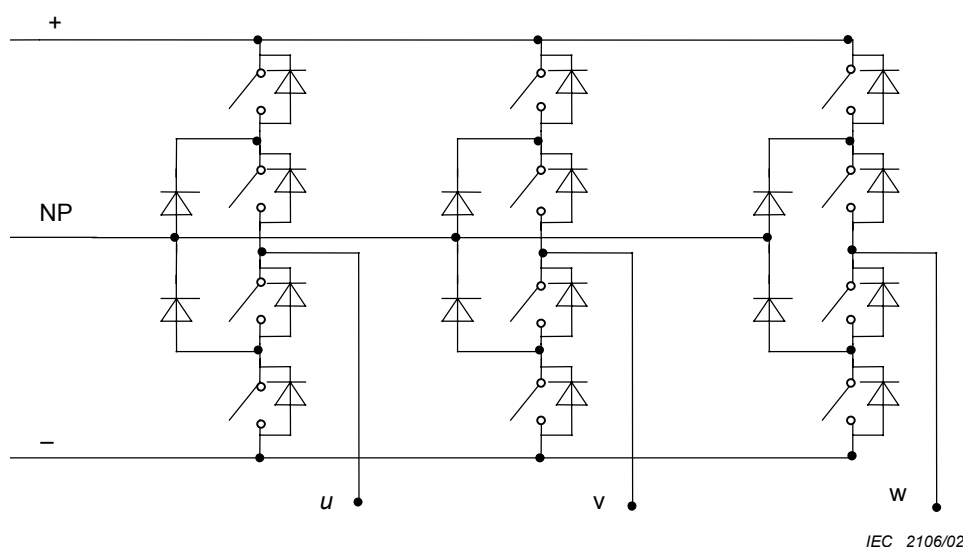


Figure A.7 – Structure NPC

Cet entraînement comporte essentiellement:

- un redresseur à diodes côté réseau (indice de pulsation 6, 12 ou supérieur);
- un onduleur auto-commuté de structure NPC côté moteur;
- une bobine d'inductance dans la boucle intermédiaire à courant continu (si nécessaire);
- un banc de condensateurs dans la boucle intermédiaire à courant continu;
- un moteur synchrone ou un moteur à induction;
- un dispositif d'excitation dans le cas du moteur synchrone.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement deux quadrants;
- un fonctionnement quatre quadrants en utilisant un onduleur NPC en tête;
- une ondulation de couple faible grâce à la commande en MLI;
- MLI à 3 niveaux;
- un bon facteur de déphasage côté réseau;
- une faible émission harmonique côté réseau lorsqu'on utilise un redresseur à diodes d'indice de pulsation élevé.

A.2.7 Entraînement à moteur synchrone ou à induction, à onduleur multiniveaux en source de tension à condensateurs flottants symétriques (FSC)

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.8 et la structure multiniveaux détaillée est donnée à la figure A.9.

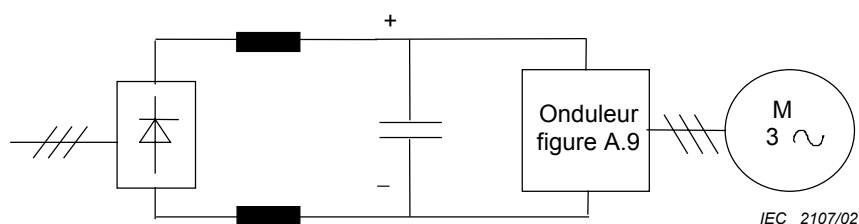


Figure A.8 – Entraînement à onduleur multiniveaux en source de tension

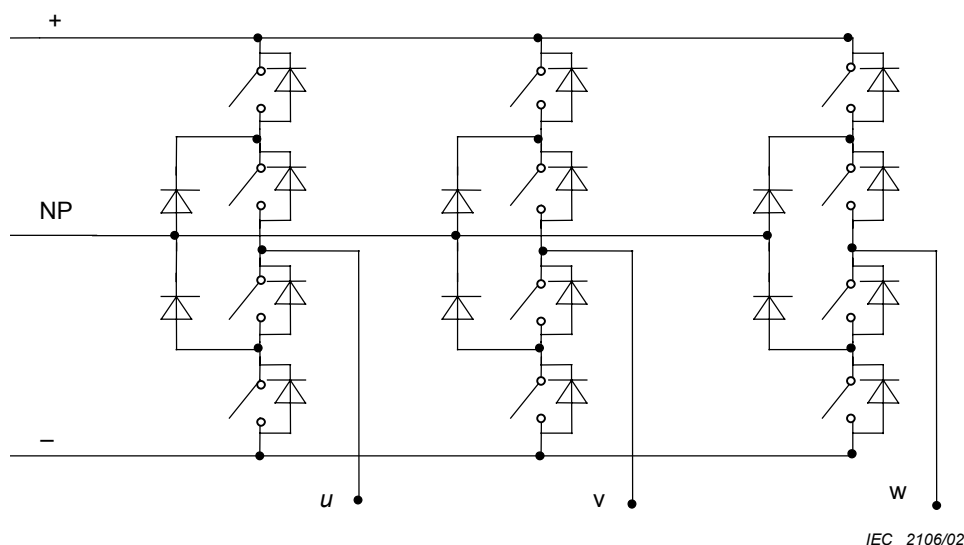


Figure A.7 – NPC structure

This drive system essentially consists of:

- a diode line-side rectifier (6p, 12p or higher);
- a self-commutated NPC motor-side inverter;
- a d.c. reactor (if needed);
- a d.c. capacitor bank;
- a synchronous or induction motor;
- an excitation system, if a synchronous motor is used.

The general characteristics of the drive system are:

- a two quadrant operation;
- a four quadrant operation when using the NPC front end converter;
- a low motor torque ripple due to the PWM technique;
- a three level PWM;
- a high line-side displacement factor;
- low line-side harmonics with a high pulse number diode rectifier.

A.2.7 Voltage source multi-level, floating symmetrical capacitors (FSC) inverter, drive system with a synchronous or induction motor

The basic structure is shown in figure A.8 and the detailed diagram of the multi-level inverter structure is given in figure A.9.

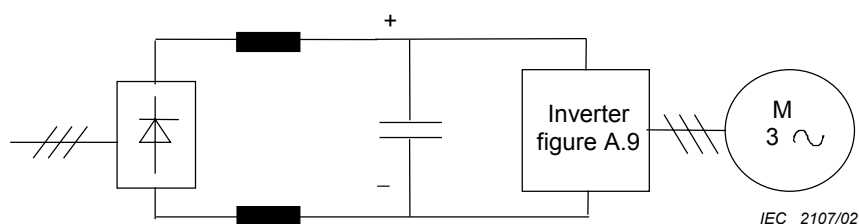
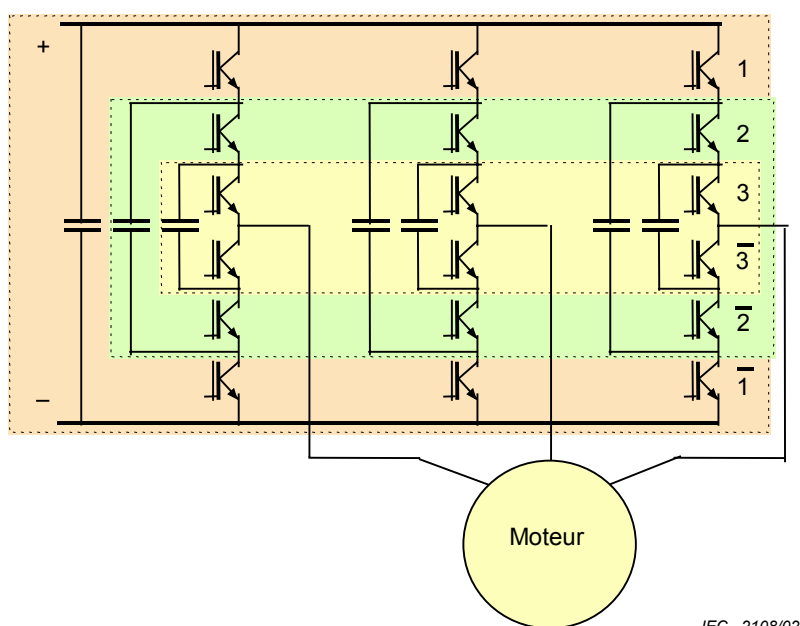


Figure A.8 – Voltage source multi-level inverter drive system



IEC 2108/02

Figure A.9 – Structure de l'onduleur multiniveaux

Cet entraînement comporte essentiellement:

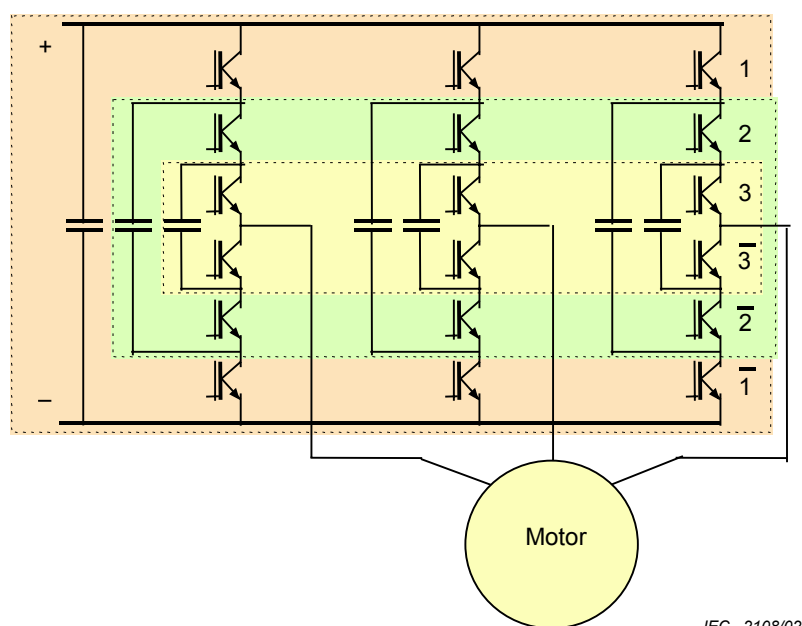
- un redresseur à diodes côté réseau, généralement d'indice de pulsation 12;
- une bobine d'inductance dans la boucle intermédiaire à courant continu (si nécessaire);
- un banc de condensateurs;
- un onduleur auto-commuté de structure multiniveaux à condensateurs flottants symétriques côté moteur;
- un moteur synchrone ou un moteur à induction;
- un dispositif d'excitation dans le cas du moteur synchrone.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement deux quadrants;
- un fonctionnement quatre quadrants en utilisant un onduleur multiniveaux en tête;
- une ondulation de couple faible grâce à la commande en MLI et à la structure multiniveaux;
- un bon facteur de déphasage côté réseau;
- une faible émission harmonique côté réseau lorsqu'on utilise un redresseur à diodes d'indice de pulsation élevé.

A.2.8 Onduleur en source de tension avec convertisseur bidirectionnel côté réseau et moteur synchrone ou moteur à induction

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.10; elle est issue de la figure A.5 avec addition d'un convertisseur capable de fonctionner en récupération. La même modification peut aussi être appliquée à l'onduleur NPC (figure A.6) ou à l'onduleur multi-niveaux (figure A.8).



IEC 2108/02

Figure A.9 – Multi-level inverter structure

This drive system essentially consists of:

- a diode line-side rectifier, generally 12-pulse;
- a d.c. reactor (if needed);
- a d.c. capacitor bank;
- a self-commutated multilevel motor-side converter, including floating symmetrical capacitors;
- a synchronous or induction motor;
- an excitation system, if a synchronous motor is used.

The general characteristics of the drive system are:

- a two quadrant operation;
- a four quadrant operation when using the multilevel inverter structure as front end converter;
- a low motor torque ripple due to the PWM technique and multilevel structure;
- a high line-side displacement factor;
- low line-side harmonics with a high pulse number diode rectifier.

A.2.8 Voltage source inverter, bi-directional line-side converter, with a synchronous or induction motor

The basic structure of the drive is shown in figure A.10; it has been obtained from figure A.5, by addition of a regeneration converter section. The same modification can be applied also to the NPC inverter (figure A.6) or the multilevel inverter (figure A.8).

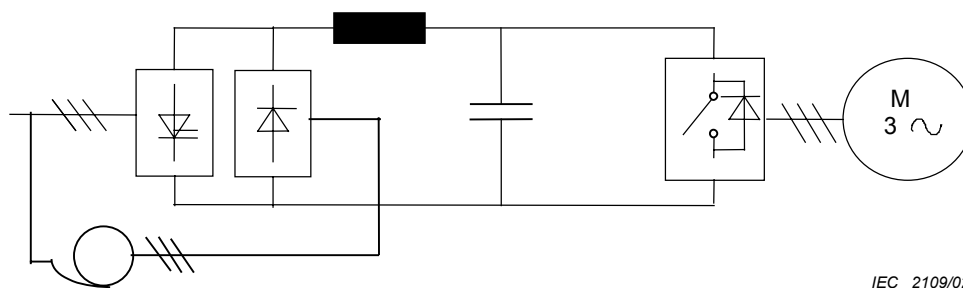


Figure A.10 – Onduleur triphasé en source de tension avec convertisseur bidirectionnel côté réseau

Cet entraînement comporte essentiellement:

- un redresseur à diodes côté réseau;
- un convertisseur côté réseau à commutation assistée par le réseau;
- un convertisseur auto-commuté côté moteur;
- un auto-transformateur (en option);
- une bobine d'inductance (si nécessaire);
- un banc de condensateurs;
- un moteur synchrone ou un moteur à induction;
- un dispositif d'excitation dans le cas du moteur synchrone.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement quatre quadrants;
- une ondulation de couple faible (négligeable dans le cas de commande en MLI);
- un bon facteur de déphasage côté réseau en fonctionnement moteur;
- un facteur de puissance faible côté réseau qui dépend de la puissance en entrée, en mode récupération.

A.2.9 Entraînement avec moteur synchrone ou moteur à induction à double onduleur en source de tension (VSI)

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.11; elle est issue de la figure A.5 en remplaçant le redresseur à diodes côté réseau par un onduleur auto-commuté. La même modification peut aussi être appliquée à l'onduleur NPC (figure A.6) ou à l'onduleur multiniveaux (figure A.8).

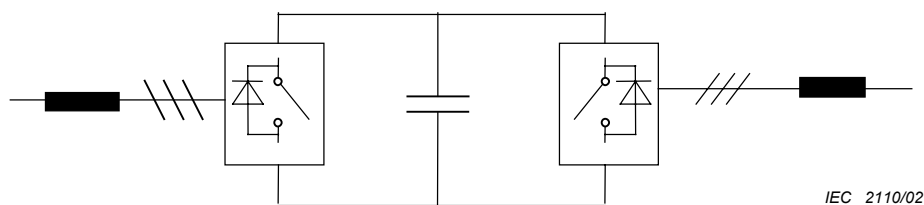
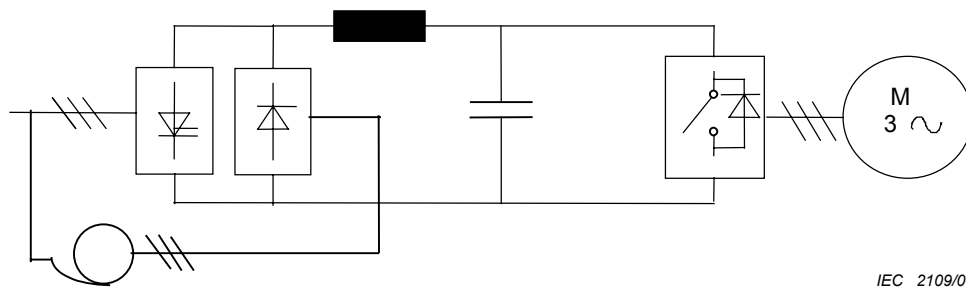


Figure A.11 – Entraînement à double onduleur en source de tension (VSI)

Cet entraînement comporte essentiellement:

- une bobine d'inductance d'entrée;
- un convertisseur auto-commuté côté réseau;
- un convertisseur auto-commuté côté moteur;



IEC 2109/02

Figure A.10 – Three-phase VSI inverter with a bi-directional line-side converter

This drive system essentially consists of:

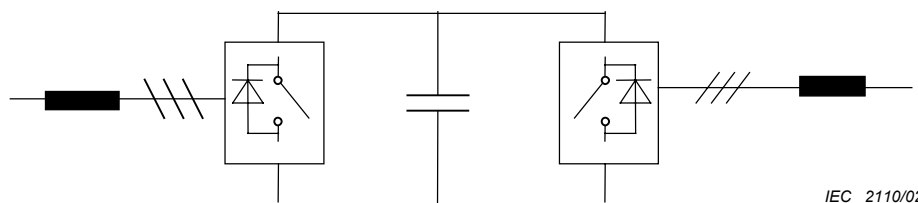
- a diode line-side rectifier;
- a line commutated line-side converter;
- a self-commutated motor-side converter;
- an auto-transformer (optional);
- a d.c. reactor (if needed);
- a d.c. capacitor bank;
- a synchronous or induction motor;
- an exciting system, if a synchronous motor is used.

The general characteristics of the drive are:

- a four quadrant operation;
- a low motor torque ripple (negligible if the PWM technique is adopted);
- a high line-side power factor in the motoring mode;
- a low line-side power factor, depending on the input power, in the regenerating mode.

A.2.9 Dual voltage source inverter (VSI) drive systems with a synchronous or induction motor

The basic structure of the drive is shown in figure A.11; it has been obtained from figure A.5, replacing the diode line-side rectifier with a self-commutated inverter. The same modification can be applied also to the NPC inverter (figure A.6) or the multilevel inverter (figure A.8).



IEC 2110/02

Figure A.11 – Dual voltage source inverter (VSI) drive system

This drive essentially consists of:

- a line-side reactor;
- a self-commutated line-side converter;
- a self-commutated motor-side converter;

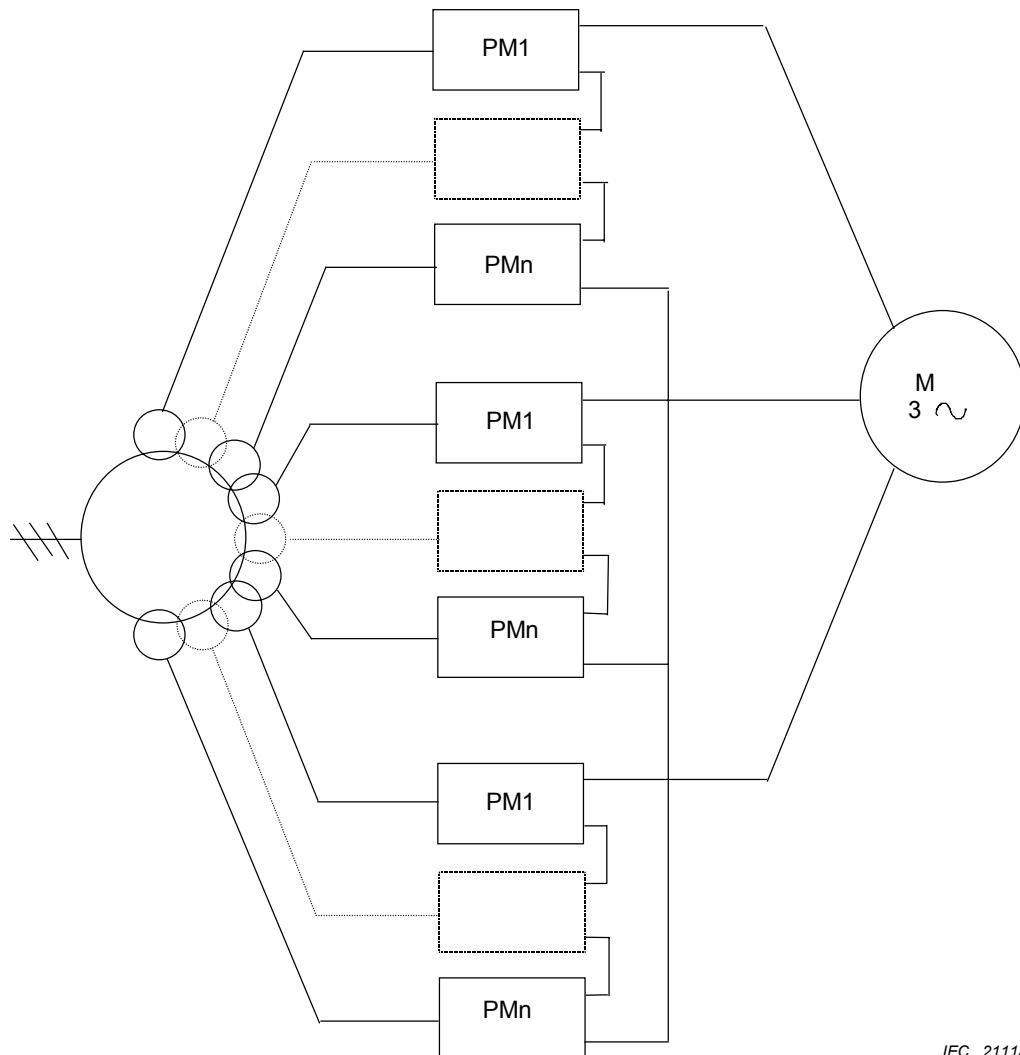
- un banc de condensateurs dans la boucle intermédiaire à courant continu;
- un moteur synchrone ou un moteur à induction;
- un dispositif d'excitation dans le cas du moteur synchrone.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement quatre quadrants;
- une ondulation de couple faible (négligeable dans le cas de commande en MLI);
- un facteur de puissance côté réseau proche de l'unité;
- un résidu harmonique de courant réduit en entrée.

A.2.10 Onduleur en source de tension multiniveaux et transformateur multisecondaires

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.12. Un schéma détaillé de chaque module de puissance (PM) est donné à la figure A.13.



IEC 2111/02

Figure A.12 – Entraînement à onduleur multiniveaux en source de tension

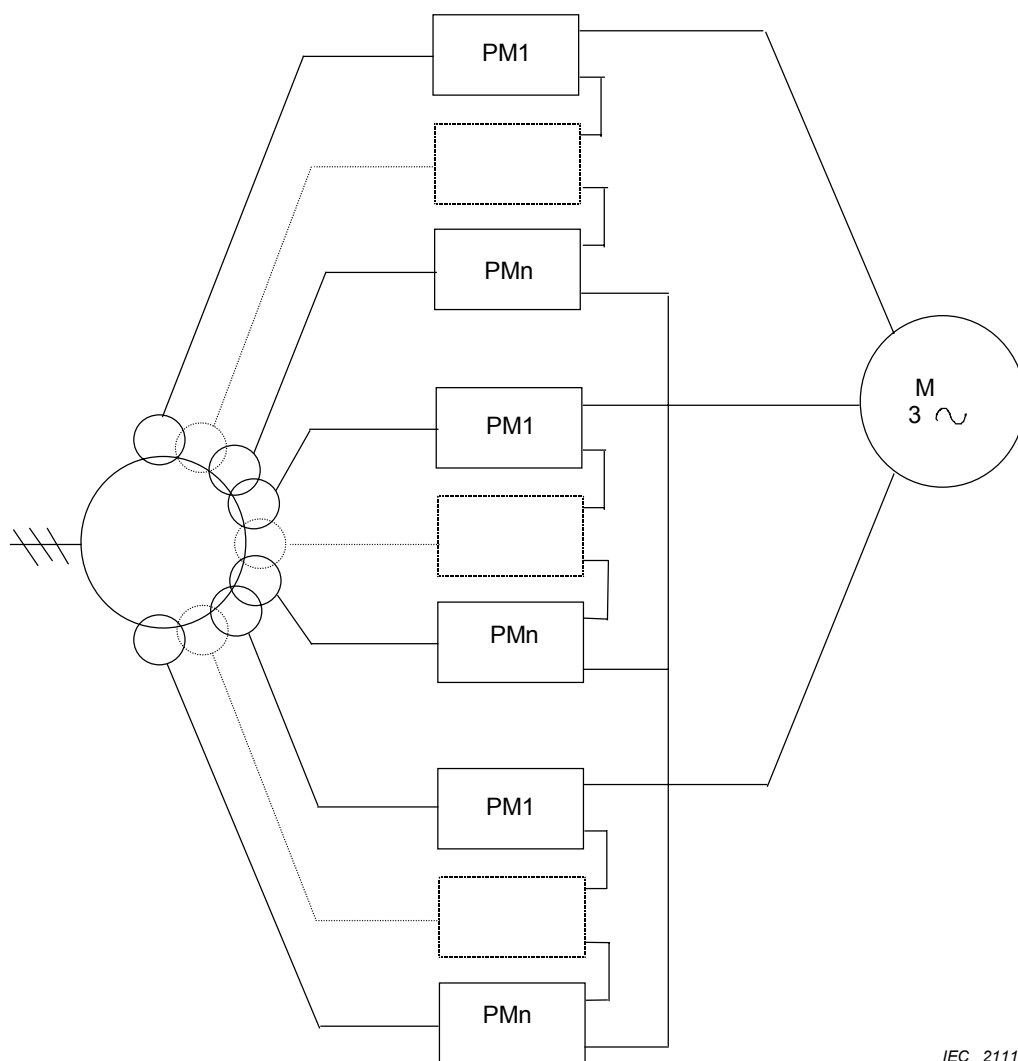
- a d.c. capacitor bank;
- a synchronous or induction motor;
- an excitation system, if a synchronous motor is used.

The general characteristics of the drive are:

- a four quadrant operation;
- a low motor torque ripple (negligible if the PWM technique is adopted);
- a near unity line-side power factor;
- a reduced input current harmonic content.

A.2.10 Voltage source multi-level inverter, multi-secondary transformer

The basic structure of the drive is shown in figure A.12. A detailed diagram of each power module (PM) is given in figure A.13.



IEC 2111/02

Figure A.12 – Voltage source multilevel inverter drive system

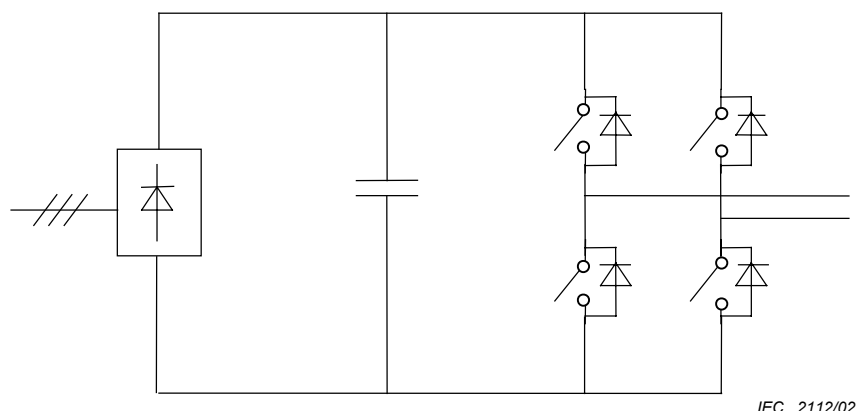


Figure A.13 – Module de puissance (PM) pour onduleur multiniveaux en source de tension

Cet entraînement comporte essentiellement:

- N modules de puissance (PM) connectés en série pour chaque phase du moteur (chaque PM est un onduleur monophasé avec liaison intermédiaire à courant continu individuelle);
- un transformateur à secondaires isolés pour alimenter tous les modules de puissance;
- un moteur synchrone ou un moteur à induction;
- un dispositif d'excitation dans le cas du moteur synchrone.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement deux quadrants;
- une ondulation de couple faible (négligeable dans le cas de commande en MLI);
- un facteur de puissance côté réseau proche de l'unité;
- un résidu harmonique de courant réduit en entrée.

A.3 Topologies d'entraînement à convertisseurs directs

A.3.1 Convertisseurs directs et cycloconvertisseurs

La conversion d'une tension alternative d'amplitude fixe et de fréquence fixe en une autre tension alternative d'amplitude variable et de fréquence variable se pratique sans étage intermédiaire à courant continu, dans les convertisseurs directs.

Le cycloconvertisseur représente l'exemple principal de convertisseur direct.

L'élément de base d'un cycloconvertisseur est l'unité de phase constituée d'un pont tête-bêche triphasé, c'est-à-dire deux ponts à thyristors en montage anti-parallèle, capable de fonctionner dans les quatre quadrants. L'angle d'allumage de chaque pont est modulé de façon à fournir la tension de sortie alternative. Un cycloconvertisseur triphasé est composé de trois unités de phase commandées de façon à produire des tensions de sortie alternatives de même amplitude et de même fréquence, mais déphasées de 120°.

Le cycloconvertisseur peut fonctionner avec ou sans courant de circulation.

A.3.2 Cycloconvertisseur sans courant de circulation pour moteur synchrone ou pour moteur à induction

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.14.

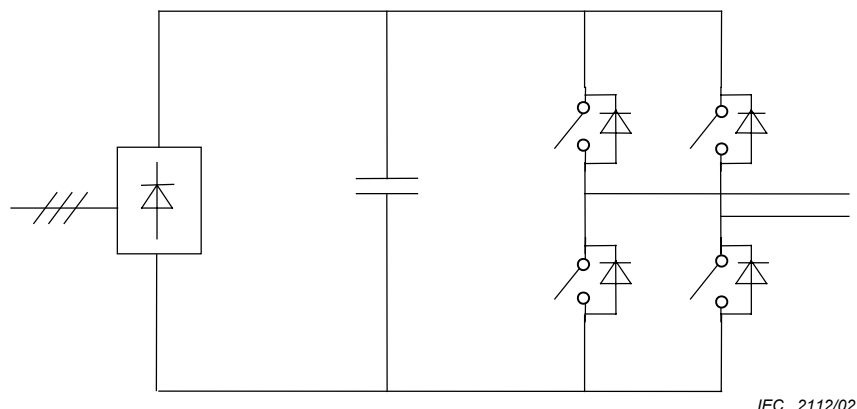


Figure A.13 – Power module (PM) for each level

This drive system essentially consists of:

- N series of connected power modules (PM) for each motor phase (each PM based on a single phase inverter, with an individual d.c. link);
- a transformer with insulated secondary voltages to supply all the power modules;
- a synchronous or induction motor;
- an excitation system, if a synchronous motor is used.

The general characteristics of the drive system are:

- a two quadrant operation;
- a low motor torque ripple (negligible if PWM technique is adopted);
- a near unity line-side power factor;
- a reduced input current harmonic content.

A.3 Drive system topologies with direct converters

A.3.1 Direct converters and cycloconverters

In direct converters, conversion from an a.c. voltage of fixed amplitude and frequency to another a.c. voltage of variable amplitude and frequency is performed with no d.c. intermediate stage.

The cycloconverter represents the main example of direct converter.

The basic element is a single-phase unit consisting of two anti-parallel three-phase thyristor bridges, capable of four quadrant operation. The firing angle of each bridge is properly modulated to achieve the a.c. output voltage. A three-phase cycloconverter is composed by three single-phase units controlled to produce a.c. output voltages of the same amplitude and frequency but with phase displacements of 120° .

The cycloconverter can be operated in the circulating current mode or in the circulating current-free mode.

A.3.2 Circulating current-free cycloconverter with a synchronous or induction motor

The basic structure of the drive is shown in figure A.14.

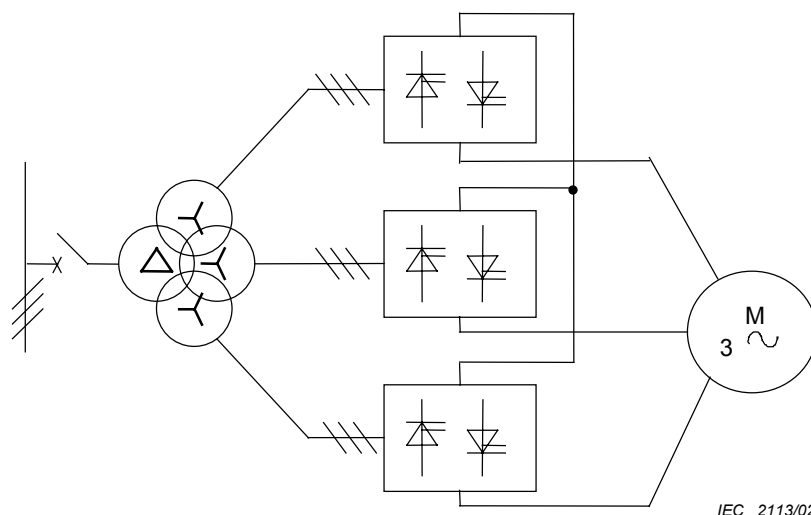


Figure A.14 – Cycloconvertisseur triphasé d'indice de pulsation 6 avec transformateur à 3 secondaires

Cet entraînement comporte essentiellement:

- trois convertisseurs réversibles à commutation assistée;
- un moteur synchrone ou un moteur à induction;
- un dispositif d'excitation dans le cas du moteur synchrone.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement quatre quadrants;
- un fonctionnement à basse vitesse (fréquence de sortie maximale entre le tiers et la moitié de la fréquence du réseau);
- une ondulation de couple négligeable;
- un facteur de puissance faible côté réseau.

A.3.3 Cycloconvertisseur à circulation de courant pour moteur synchrone ou pour moteur à induction

La structure de base de l'entraînement est donnée à la figure A.15.

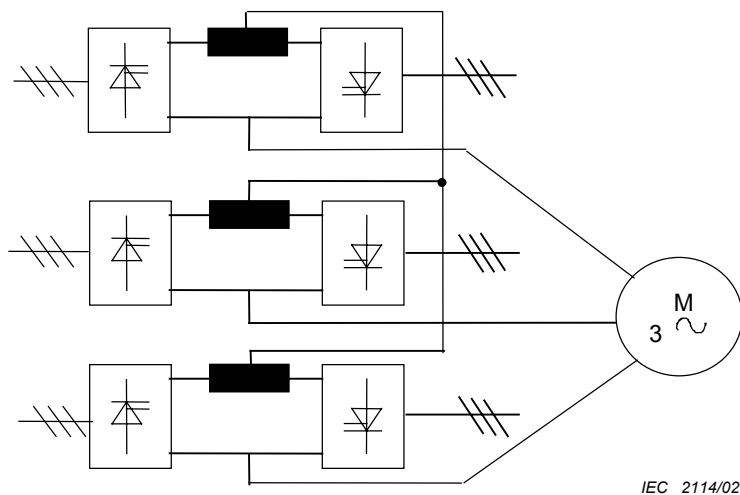


Figure A.15 – Cycloconvertisseur à circulation de courant

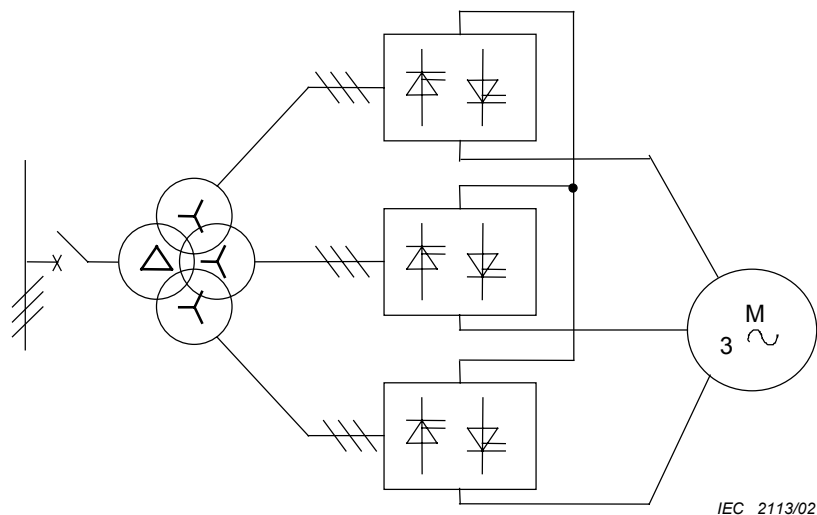


Figure A.14 – Three-phase six-pulse connection cycloconverter with a four-winding transformer

This drive system essentially consists of:

- three externally commutated reversible converters;
- a synchronous or induction motor;
- an excitation system, if a synchronous motor is used.

The general characteristics of the drive are:

- a four quadrant operation;
- a low speed operation (maximum output frequency about one third to one half of the line frequency);
- a negligible torque ripple;
- a low line-side power factor.

A.3.3 Circulating current cycloconverter with a synchronous or induction motor

The basic structure of the drive is shown in figure A.15.

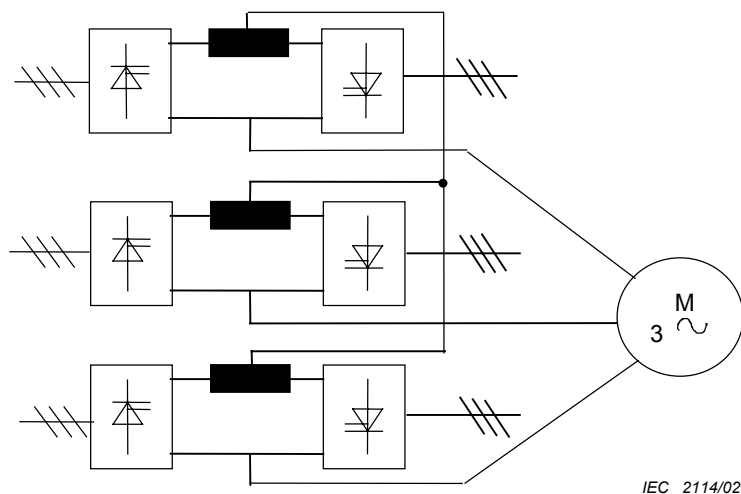


Figure A.15 – Circulating current cycloconverter

Cet entraînement comporte essentiellement:

- trois convertisseurs réversibles à commutation assistée avec bobines d'inductance limitant le courant de circulation;
- un moteur synchrone ou un moteur à induction;
- un dispositif d'excitation dans le cas du moteur synchrone.

Les caractéristiques générales de l'entraînement sont:

- un fonctionnement quatre quadrants;
- un fonctionnement à basse vitesse (fréquence de sortie maximale allant jusqu'à 4/5 de la fréquence du réseau);
- une ondulation de couple négligeable;
- un facteur de puissance faible côté réseau.

A.3.4 Autres configurations

Parmi les autres configurations d'entraînements, quelques-unes sont utilisées, par exemple les entraînements avec moteur à induction à double alimentation, dans des plages de vitesse limitées:

- cascade hypo et hypersynchrone statique (montage de Scherbius) avec restitution de la puissance rotorique de glissement vers le réseau d'alimentation;

NOTE Le montage de Krämer, pour lequel la puissance rotorique de glissement alimente au moyen d'un redresseur à diodes un moteur shunt à courant continu accouplé au même arbre, n'est que rarement ou plus du tout utilisé.

- cascade hypo et hypersynchrone statique avec convertisseur quatre quadrants au rotor permettant de contrôler la puissance réactive, consommée ou fournie, côté stator.

Ces configurations offrent un dimensionnement du convertisseur plus petit que celui du moteur, en fonction de la plage de vitesse variable exigée autour de la vitesse de synchronisme.

This drive system essentially consists of:

- three externally commutated reversible converters, including reactors to limit the circulating current;
- a synchronous or induction motor;
- an exciting system, if a synchronous motor is used.

The general characteristics of the drive are:

- a four quadrant operation;
- a low speed operation (maximum output frequency about 4/5 of the line frequency);
- a negligible torque ripple;
- a low line-side power factor.

A.3.4 Other configurations

Among the other drive system configurations, some are used, for example PDSs with a doubly fed induction motor, when the speed range is limited:

- static Scherbius drive systems with regeneration of the rotor slip power to the supply network;

NOTE The Krämer drive system, for which the rotor slip power is feeding, through a diode rectifier, a d.c. shunt motor clutched on the same shaft is no longer, or rarely, used.

- four quadrant rotor fed system allowing control of a leading or lagging stator current.

These configurations offer a rating of the converter lower than the rating of the motor, according to the range of speed adjustment required below and above the synchronous speed.

Annexe B (informative)

Performance du contrôle de vitesse et système mécanique

B.1 Généralités

De nombreux types de stratégies de contrôle de vitesse sont utilisés pour donner le meilleur compromis entre différents aspects tels que grande précision, réponse très rapide, pulsation de couple faible, robustesse face aux variations des paramètres mécaniques, fonctionnement sans capteur, etc. Le choix de la stratégie de contrôle dépend des performances exigées de l'entraînement, donc des exigences concernant le matériel entraîné.

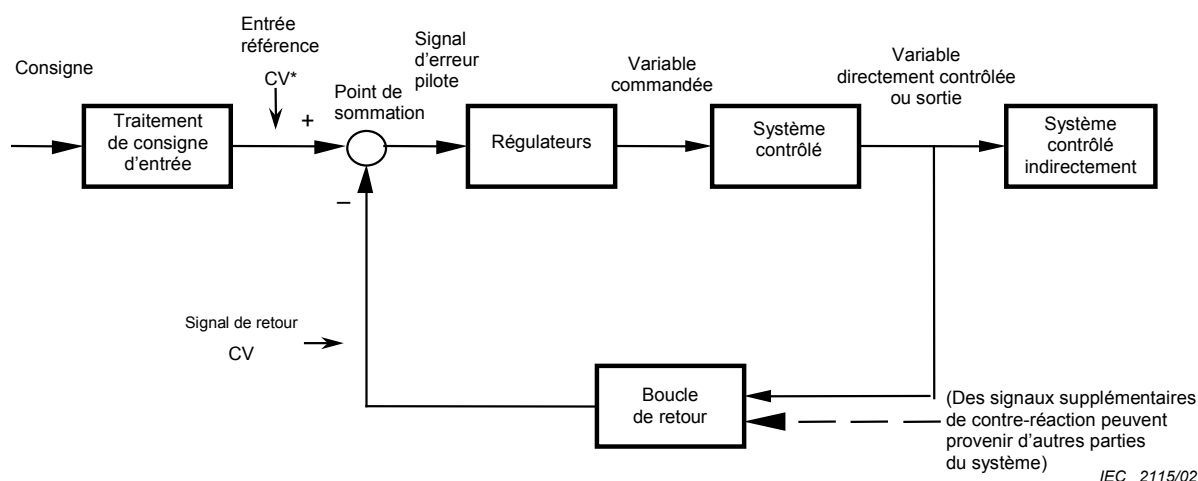
Cependant, la performance du contrôle de vitesse dépend beaucoup des propriétés du système mécanique couplé à l'arbre moteur. Il est important de noter que le fournisseur du matériel entraîné est souvent responsable de la performance du contrôle de vitesse.

L'objet de cette annexe est d'abord de fournir quelques informations relatives à la performance du contrôle de vitesse et aux paramètres mécaniques, de fournir ensuite un guide à la spécification du système de contrôle de vitesse.

B.2 Types de contrôle de vitesse fondamentaux

Il y a fondamentalement trois types de contrôle de vitesse, voir figure B.1:

- contrôle en boucle ouverte, sans retour (contre-réaction);
- contrôle en boucle fermée avec retour indirect (calculé), ce calcul est conduit à partir des variables telles que tension, flux, courant, impulsion du convertisseur, etc.;
- contrôle en boucle fermée avec retour direct (capteur).



NOTE CV est la variable contrôlée, elle apparaît dans le schéma en tant que:

- référence notée CV*.
- mesure courante notée CV.

Figure B.1 – Schéma bloc d'un système de contrôle en boucle fermée avec les éléments fondamentaux

Annex B (informative)

Speed control performance and the mechanical system

B.1 General

There are many types of speed control strategies that are used in order to achieve the best compromise between such desirable aspects as high accuracy, fast speed responses, low torque pulsation, robustness against mechanical parameter variation, sensor-less operation, etc. The selection of the control strategy depends on the required performance of the drive system and thus the requirements of the driven equipment.

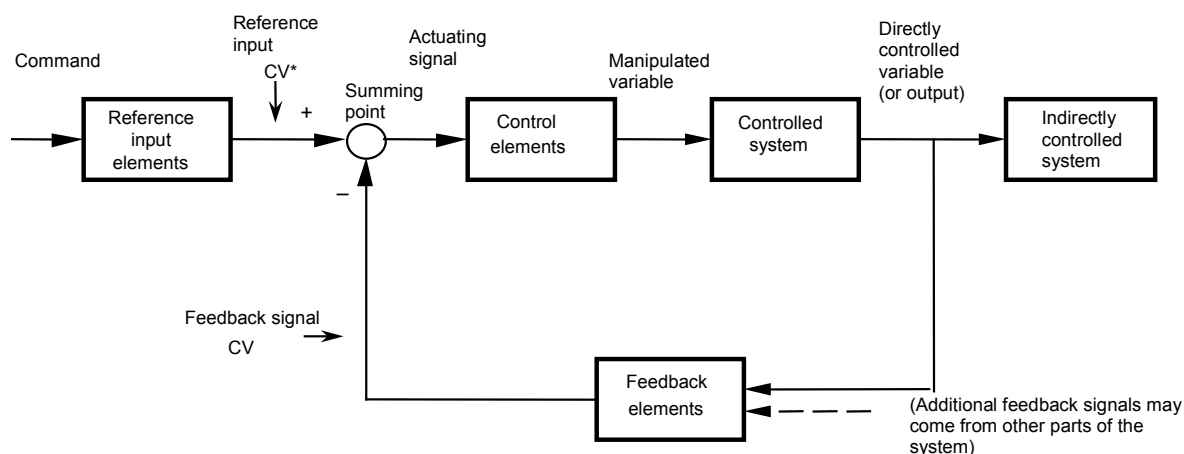
However, the performance of the speed control depends a lot on the properties of the mechanical system connected to the motor shaft. It is important to acknowledge that the supplier of the driven equipment is in many cases responsible of the performance of the speed control.

The purpose of this annex is firstly to give information about the relation between speed control performance and mechanical parameters and secondly to give guidance on the specifications of the speed control system.

B.2 Basic speed control types

There are basically three types of speed control systems, see figure B.1:

- open loop control, without feedback;
- closed loop control, with indirect (calculated) feedback. This calculation is made from electrical variables such as voltage, flux, current, pulses of the converter, etc.;
- closed loop control, with direct (sensor) feedback.



IEC 2115/02

NOTE CV is the controlled variable, it appears in the diagram as:

- reference noted CV^* ,
- measurement of actual value noted CV.

Figure B.1 – Block diagram of the feedback control system containing all the basic elements

B.3 Effet de l'élasticité de torsion sur la performance de contrôle de vitesse

B.3.1 Amortissement des pulsations de couple

Il est important d'établir les distinctions suivantes concernant le couple:

- le couple électromagnétique produit par la machine électrique (couple d'entrefer);
- le couple mécanique sur l'arbre.

Cette dernière variable implique le système mécanique complet en raison des réactions de la charge. Ainsi, sauf spécification contraire, on suppose conventionnellement que «le couple» est le couple électromagnétique sans considération des réactions de la charge ou des pertes.

L'accouplement d'un matériel entraîné à un moteur par un arbre et/ou un réducteur donne naissance à une fréquence naturelle de torsion (*NTF*) qui dépend des inerties et de l'élasticité de la transmission conformément à la relation:

$$NTF = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K(J_M + J_D)}{J_M J_D}}$$

où

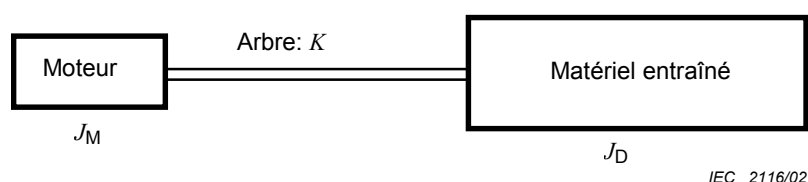
J_M est l'inertie du rotor (kgm^2);

J_D est l'inertie du matériel entraîné (kgm^2);

K est la raideur de torsion (Nm/radian)($1/K$ = élasticité);

NTF est la fréquence naturelle de torsion(Hz).

Cette équation fait référence à un système à deux inerties, voir figure B.2. (Un système à trois inerties ou plus implique deux *NTF* ou plus. Cependant, dans la pratique, seule la *NTF* de plus basse fréquence, ou les deux *NTF* de plus basse fréquence sont significatives).



IEC 2116/02

Figure B.2 – Schéma mécanique d'un système à deux inerties

Des pulsations du couple électromagnétique du moteur, ou des pulsations du couple de charge du matériel entraîné, peuvent conduire à des contraintes importantes sur l'arbre si la fréquence de ces pulsations est proche de l'une des *NTF*. Cette situation vaut particulièrement en cas de contrôle de vitesse en boucle ouverte.

Cependant, dans le cas d'un contrôle de vitesse en boucle fermée, le système de contrôle peut être capable d'amortir les vibrations de torsion. Les exigences d'un amortissement efficace sont:

- les *NTF* les plus significatives sont largement incluses dans la bande passante du régulateur de couple (voir 7.2.3.1). Il convient que la *NTF* soit typiquement inférieure d'un octave à la bande passante à 3dB du contrôle de couple (une estimation grossière de la bande passante du contrôle de couple est $F_{3dB} = 0,5/TR$ où TR est le temps de réponse en couple (ou en courant));
- les retards dans la mesure de vitesse du système sont faibles, typiquement inférieurs au temps de montée du régulateur de couple;
- la précision de la mesure de vitesse est grande;
- les paramètres du régulateur de vitesse sont correctement ajustés.

B.3 Effect of torsion elasticity on speed control performance

B.3.1 Damping of the torque pulsations

When referring to torque, it is important to distinguish between:

- electromagnetic torque produced by the electrical machine (air-gap torque);
- mechanical torque on the shaft.

The latter variable involves the complete mechanical system because of load reaction. So unless otherwise specified, it is conventionally assumed that “torque” is the electromagnetic torque without considering load reaction and loss.

The connection of a motor to a driven equipment, by a shaft and/or gearing, generates a *NTF* (natural torsion frequency) depending on the moments of inertia and the transmission's elasticity according to the formula:

$$NTF = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K(J_M + J_D)}{J_M J_D}}$$

where

J_M is the moment of inertia of the rotor [kgm²]

J_D is the moment of inertia of the driven equipment [kgm²]

K is the torsion stiffness [Nm/radian] ($1/K$ = elasticity)

NTF is the natural torsion frequency [Hz]

This equation refers to a two moment inertia system, see figure B.2. (A system with three or more pieces of inertia involves two or more *NTFs*. However, in practice only the one or two lowest *NTFs* are of significance).

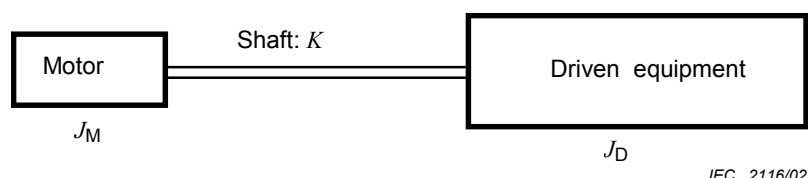


Figure B.2 – Mechanical diagram of a two moment inertia system

Pulsations in the electromagnetic torque of the motor or the load torque of the driven equipment may lead to high stresses on the shaft if the pulsation frequency is close or at one of the *NTFs*. This situation is especially valid for the open loop speed control.

With a closed loop speed control, however, the control system may be able to damp torsion vibrations. The requirements for successful damping are:

- the most significant *NTFs* are well within the bandwidth (see 7.2.3.1) of the torque controller. Typically, *NTF* should be less than half of the torque control bandwidth at 3dB (a rough estimate for the torque control bandwidth is $F_{3dB} = 0,5/TR$ where TR is the response time of the torque (or current) control);
- the delays in the speed measurement system are small, typically less than the rise time of the torque controller;
- the accuracy of the speed measurement system is high;
- the speed controller is tuned correctly.

La capacité à amortir les vibrations de torsion du contrôle de vitesse en boucle fermée repose sur la compensation des pulsations de couple du moteur et de la charge. La compensation est obtenue par une action contraire sur la référence de couple. Une grande précision et une bonne dynamique de la mesure de vitesse sont nécessaires à un amortissement efficace car la compensation repose sur la mesure rapide des différences entre la référence vitesse et la mesure vitesse du moteur. Ces différences sont usuellement très faibles, et décroissent naturellement avec le niveau de vibration.

Il est plus difficile d'amortir les pulsations de couple dont l'origine est dans la charge que celles provenant du moteur. La raison est pour une part la complexité et d'autre part la forte atténuation du système mécanique. La première raison est la source des difficultés de la compensation, tandis que pour la seconde, il est difficile de discriminer les variations de vitesse du moteur dues aux pulsations du couple de charge.

B.3.2 Performance dynamique et contrôle de vitesse

La performance dynamique du contrôle de vitesse dépend non seulement de la fréquence naturelle de torsion NTF mais aussi de la fréquence d'anti-résonance de torsion (ARF) du système mécanique, voir figure B.2:

$$ARF = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{J_D}}$$

où

J_D est l'inertie du matériel entraîné (kgm^2);

K est la raideur de torsion (Nm/radian)($1/K$ = élasticité);

ARF est la fréquence d'anti-résonance(Hz) .

Cette équation fait référence à un système à deux inerties. (Un système à trois inerties ou plus implique deux ARF ou plus. Cependant, dans la pratique, seule l' ARF de plus basse fréquence est significative).

La comparaison des expressions donnant la NTF et l' ARF montre à l'évidence que $ARF < NTF$. La différence entre ces deux fréquences est d'autant plus grande que le rapport de l'inertie de la charge à celle du moteur (J_D/J_M) est grand. Il faut noter que l' ARF ne dépend que des propriétés du matériel entraîné.

On compte trois cas fondamentaux.

- a) Toutes les NTF et ARF sont au moins dix fois supérieures aux fréquences que le contrôle de vitesse peut amortir (voir B.3.1).

Les performances dynamiques du contrôle de vitesse sont uniquement définies par le régulateur de couple ou par la dynamique du capteur de vitesse. Il faut remarquer qu'il s'agit d'un cas rare de PDS, car les NTF et ARF significatives d'un équipement de grande puissance sont typiquement basses, inférieures à 20 Hz ou 30 Hz. La seule exception concerne les systèmes de contrôle de vitesse utilisant un retour tachymétrique indirect en raison du retard important introduit par l'estimation de vitesse.

- b) Les NTF et ARF significatives sont suffisamment basses pour être amorties par le contrôle de vitesse.

C'est le plus souvent le cas des PDS à capteur de vitesse direct. Le régulateur de vitesse doit être réglé pour amortir les résonances afin d'assurer la stabilité du contrôle de vitesse. Ainsi, les performances maximales du contrôle de vitesse sont limitées par les propriétés du système mécanique. La fréquence la plus critique est la plus basse des ARF . En règle pratique, on peut obtenir un temps de réponse en vitesse de l'ordre de $1/ARF$. Par exemple une ARF de 10 Hz conduit à un temps de réponse voisin de $1/10 \text{ Hz} = 100 \text{ ms}$.

The ability of the closed loop speed control to damp torsion vibrations is based on the compensation of the motor and load torque pulsations. These pulsations are compensated by counteracting changes in the torque reference. High accuracy and good dynamics of the speed measurement system are required for good damping because the compensations are based on the fast changing differences between the speed reference and the measured motor speed. These differences are usually quite small and decrease naturally with decreasing vibration level.

It is more difficult to damp load torque pulsations than motor torque pulsations. The reason is partly the complexity and partly the high attenuation of the mechanical system. The former makes the compensation difficult and the latter makes it difficult to discern the motor speed variation due to the load torque pulsation.

B.3.2 Dynamic performance of the speed control

In addition to the *NTF* the dynamic performance of the speed control depends on the torsion antiresonance frequency (*ARF*) of the mechanical system, see figure B.2:

$$ARF = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{J_D}}$$

where

J_D is the moment of inertia of the driven equipment [kgm²]

K is the torsion stiffness [Nm/radian] ($1/K$ = elasticity)

ARF is the anti-resonance frequency [Hz]

This equation refers to a two moment inertia system. (A system with three or more pieces of inertia involves two or more *ARFs*. However, in practice only the lowest *ARF* is of significance).

By comparing the *NTF* and *ARF* equations, it is evident that $ARF < NTF$ always. The bigger the load to motor inertia ratio J_D/J_M is, the bigger the difference between these two frequencies will be. Note that the *ARF* is defined solely by the properties of the driven equipment.

There are three basic cases.

- a) All *NTFs* and *ARFs* are at least one decade too high to be damped by the speed control (see the list in B.3.1).

In this case, the dynamic performance of the speed control is determined solely by the torque controller or the speed measuring system dynamics. Note that with PDS, this case is rarely encountered because the significant *NTFs* and *ARFs* of high power equipment are typically quite low, below 20 Hz to 30 Hz. The only exception where this case may be valid is speed control systems using indirect speed feedback because of the long delays associated with speed estimation.

- b) Significant *NTFs* and *ARFs* are low enough to be damped by the speed control.

This case is most often encountered with a PDS using direct speed sensor feedback. The speed controller has to be tuned to damp the resonances in order to ensure the stability of the speed control. Thus the maximum performance of the speed control is limited by the properties of the mechanical system. The most critical is the lowest *ARF*. As a rule of thumb, the achievable response time of the speed controller is $1/ARF$. For example, if $ARF = 10$ Hz, the response time will be about $1/10$ Hz = 100 ms.

- c) Au moins une des fréquences de résonance significatives est trop élevée pour être amortie et trop basse pour être ignorée.

Afin d'éviter l'amplification des vibrations de résonance par le régulateur de vitesse, celui-ci doit être muni d'un filtre atténuant les signaux à cette fréquence. Cependant, un tel filtre a souvent pour effet néfaste de ralentir sérieusement la dynamique du contrôle de vitesse.

En conclusion, il n'est le plus souvent ni économique ni techniquement sûr de concevoir un entraînement à retour tachymétrique direct, de telle sorte que les fréquences de résonance soient suffisamment élevées pour répondre au cas a). Les performances dynamiques du cas c) sont souvent moins bonnes que celles du cas b), ainsi le cas b) constitue-t-il le choix approprié. En conséquence, afin de répondre aux exigences de performances dynamiques de vitesse spécifiées, la plus basse des ARF du matériel entraîné doit être suffisamment élevée, et le régulateur doit pouvoir amortir les fréquences de résonance.

EXEMPLE

Le temps de réponse en vitesse est spécifié à 80 ms. Ainsi, il convient que la plus basse ARF soit au moins à $1/80 \text{ ms} = 12,5 \text{ Hz}$. Si l'inertie du matériel entraîné est $J_D = 3\,000 \text{ kgm}^2$, la raideur minimale de torsion de l'arbre devrait être:

$$K = J_D (2\pi ARF)^2 = 3 \cdot 10^3 [2\pi 12,5]^2 = 185 \text{ MNm/radian}$$

pour un système à deux inerties. Si l'inertie du moteur est de $7\,000 \text{ kgm}^2$, la NTF vaut alors:

$$NTF = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K(J_M + J_D)}{J_M J_D}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{185 \cdot 10^6 (7 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^3)}{7 \cdot 10^3 \times 3 \cdot 10^3}} \approx 14,9 \text{ Hz}$$

Afin d'amortir la NTF , il convient que la bande passante de la boucle de couple F_{3dB} soit au moins le double de la NTF , soit $2 \times 14,9 \text{ Hz} \approx 30 \text{ Hz}$. Il en résulte un temps de réponse maximal en couple de $0,5/F_{3dB} = 17 \text{ ms}$.

NOTE Cet exemple ne vaut que pour un système à deux inerties couplées par un arbre. Dans la pratique le système mécanique est plus complexe, considérant l'inertie des accouplements et des réducteurs. De plus, dans certains cas, on doit tenir compte des structures supportant le moteur et le matériel entraîné. En conséquence, il est préférable que la conception mécanique soit confiée au spécialiste.

B.4 Effets des jeux mécaniques

Le jeu des réducteurs introduit une non-linéarité dans l'entraînement dès lors qu'il y a possibilité d'inversion de couple (par exemple: échelon de réduction de la référence vitesse, qui exige un ralentissement de l'entraînement avec un convertisseur à quatre quadrants).

Un couple inverse place les engrenages dans leur jeu, découplant le moteur pendant un court instant ce qui implique une diminution de l'inertie système vue par l'arbre moteur. Ainsi, le régulateur de vitesse passe le jeu mécanique en très peu de temps. A ce point, le système peut subir un choc excitant les vibrations de torsion, amorti après un certain nombre de cycles (dépendant du degré d'amortissement du système).

Cette vibration temporaire peut être réduite, mais pas toujours éliminée par une fonction spéciale de compensation du jeu mécanique. Il est par conséquent nécessaire de minimiser les jeux des réducteurs dans les processus demandant une conduite à haute performance dynamique.

- c) At least one of the significant resonance frequencies is too high to be damped but not high enough to be ignored.

In order to prevent the speed controller from amplifying the resonance vibrations the speed controller has to be equipped with a filter that attenuates the resonance frequency signals. However, the drawback is that such a filter often seriously decreases the speed control dynamics.

In conclusion, it is most often not economically and technically viable to design the driven equipment for a PDS with direct speed sensor feedback in such a way that the resonance frequencies will become high enough for the case a). The dynamic performance of the case c) is often worse than that of case b), so case b) is the correct choice. Thus, in order to meet the specified dynamic speed control performance, the lowest *ARF* of the driven equipment has to be high enough and the control system performance has to be capable of damping the resonance frequencies.

EXAMPLE

The specified response time of the speed control is 80 ms. Thus, the required *ARF* should be at least $1/80 \text{ ms} = 12,5 \text{ Hz}$. If the inertia of the driven equipment J_D is $3\,000 \text{ kgm}^2$, the required torsion stiffness of the shaft should be:

$$K = J_D (2\pi \text{ ARF})^2 = 3 \cdot 10^3 (2\pi \cdot 12,5)^2 = 18,5 \text{ MNm/radian}$$

for a system with two pieces of inertia. If the moment of inertia of the motor is $7\,000 \text{ kgm}^2$, the *NTF* will then be

$$\text{NTF} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K(J_M + J_D)}{J_M J_D}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{18,5 \cdot 10^6 (7 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^3)}{7 \cdot 10^3 \times 3 \cdot 10^3}} \approx 14,9 \text{ Hz}$$

In order to be able to damp the *NTF*, the bandwidth of the torque control $F_{3\text{dB}}$ should be at least twice the *NTF*, that is $2 \times 14,9 \text{ Hz} \approx 30 \text{ Hz}$. This specifies the maximum response time of the torque control to be $0,5/F_{3\text{dB}} = 17 \text{ ms}$.

NOTE This example is valid only when the assumption of two pieces of inertia connected with a shaft is valid. In practice, the mechanical system is more complex, including the inertia of the couplings and gears. Furthermore, in some cases the foundation structure under the motor and driven equipment has to be taken into account. Thus, it is better to leave the mechanical design to a specialist.

B.4 Effects of backlash

Gearing backlash introduces a non-linearity into a drive system, when there is the possibility of a torque reversal (for example a step reduction in the speed reference, demanding a slow down on a drive system, supplied by a four quadrant converter).

A torque reversal opens the backlash, causing, for a very short time, the disconnection of the motor from the driven equipment, and a resulting reduction of the system inertia on the motor shaft. Thus, the speed controller takes up the gear play (backlash) in a very short time. At this point, the system can be shocked into torsion vibration, damped out after a number of cycles (depending upon the damping factor of the system).

This temporary vibration can be reduced, but not always eliminated, by a special backlash compensation function. In processes requiring very good dynamic drive performance, it is therefore necessary to minimize the gear play.

B.5 Choix des critères du système de contrôle de vitesse

B.5.1 Contrôle de vitesse en boucle ouverte

La commande de vitesse en boucle ouverte présente deux avantages essentiels. En premier, elle ne nécessite aucun capteur de vitesse et en second, il n'est pas nécessaire de connaître les paramètres du moteur de façon précise. Ainsi, ce type de contrôle de vitesse est spécialement recommandé pour les moteurs raccordés en parallèle et se trouvant loin du variateur.

En conséquence, la précision de vitesse naturelle est de l'ordre de $\pm 1\%$ à $\pm 2\%$ (typiquement) pour les moteurs à induction commandés en boucle ouverte (un moteur synchrone commandé en boucle ouverte n'est pas un exemple courant de PDS). Si toutefois le PDS fait partie d'un système contrôlé en boucle fermée (par exemple système de contrôle de pression ou de niveau d'eau), l'erreur de vitesse est corrigée par la boucle de contrôle externe ce qui ne pose pas de problème.

En revanche, la stabilité dynamique et les performances du contrôle dynamique de la commande de vitesse en boucle ouverte sont médiocres, ce qui exclut son utilisation pour des applications demandant des temps de réponse courts. Dans quelques cas, la dynamique restreinte peut être la cause de problèmes de vibrations de torsion qui ne peuvent être amorties. Cela est spécialement le cas pour les fonctionnements continus à basse vitesse, en raison de l'harmonique 6 de couple qui correspond typiquement à la plus basse fréquence de résonance, soit une fréquence fournie par le convertisseur dans la gamme de $(5/6)$ Hz à $(50/6)$ Hz, c'est-à-dire d'environ 0,8 Hz à 8 Hz.

B.5.2 Contrôle de vitesse avec retour indirect

Les principaux avantages du contrôle de vitesse avec retour indirect sont:

- capteur de vitesse non nécessaire;
- erreur de vitesse plus faible qu'avec une commande en boucle ouverte.

En revanche, la précision de l'estimation de la vitesse d'un moteur à induction dépend de la précision des paramètres utilisés dans le modèle du moteur. Ainsi, l'erreur d'estimation peut dépendre par exemple de la température du moteur. De plus, à une vitesse inférieure à 10 % ou 15 % de la vitesse de base, l'erreur dans les mesures de tension commence à devenir prépondérante, augmentant ainsi l'erreur d'estimation.

Les moteurs synchrones présentent une précision en régime établi nettement meilleure en raison de la nature synchrone du moteur. Cependant, il peut y avoir des limites dans le fonctionnement à basse vitesse en raison des difficultés de mesure de tension telles que citées ci-dessus.

La performance dynamique dépend beaucoup de la façon dont est réalisée l'estimation. Il est de règle que la performance soit meilleure avec des moteurs à haute vitesse. Cependant, il se peut que l'amortissement de la résonance de torsion soit impossible, même si le moteur fonctionne à la vitesse de base ou au-dessus.

Le contrôle de vitesse avec retour indirect convient bien aux applications où on demande une bonne stabilité face aux variations lentes du couple de charge.

B.5.3 Contrôle de vitesse en boucle fermée

Le contrôle de vitesse en boucle fermée présente les meilleures performances. Les caractéristiques du capteur de vitesse et du système de contrôle de vitesse sont naturellement importantes lorsqu'une grande précision et un faible retard de mesures sont simultanément demandés.

B.5 Selection criteria for the speed control system

B.5.1 Open loop speed control

There are two main advantages to open loop speed control. Firstly, it does not require a speed sensor and secondly, accurate knowledge of the motor parameter values is not needed. Thus, this kind of speed control is especially desirable for parallel connected motors and motors located far away from the BDM/CDM.

The natural and usual steady state deviation band is $\pm 1\%$ to $\pm 2\%$ (typically) for the open loop induction motor speed control (an open loop controlled synchronous motor is not a common form of PDS). If the PDS is, however, part of a closed loop control system (such as a pressure, water level, etc. control system) the deviation of the speed is corrected by the outer control loop and is thus not a problem.

Nevertheless, the dynamic stability and dynamic control performance of open loop speed control are poor, which excludes its use from applications that require short response times. In some instances, the limited dynamics may cause torsion vibration problems because the torsion vibrations cannot be damped. This is of concern especially when continuous low speed operation is required, because the sixth harmonic torque frequency will typically coincide with the lowest torsion resonance frequency at inverter frequency range of $(5/6)$ Hz to $(50/6)$ Hz, that is, about 0,8 Hz to 8 Hz.

B.5.2 Speed control with indirect feedback

The main advantages of speed control with indirect feedback are:

- no speed sensor is required;
- the steady state deviation of the speed is smaller than with an open loop control.

The drawback is that the accuracy of the estimation of an induction motor speed depends on the accuracy of the motor model parameters used. Thus, the estimation error may depend for example on the motor temperature. Moreover, at speeds lower than 10 % or 15 % of the base speed, the error in the motor voltage measurements starts to dominate thereby increasing the estimation error.

With synchronous motors, the steady state performance is significantly better due to the synchronous nature of the motor. However, there may be limitations in the low speed operation of the PDS due to the voltage measurement problem mentioned above.

The dynamic performance depends much on the way the estimation is made. As a rule, the performance is better at higher motor speeds. The damping of the torsion resonance may not, however, be possible even though the motor is running at base speed or above.

Speed control with indirect feedback suits applications where good steady state performance is required against slow load torque variations.

B.5.3 Closed loop speed control

Closed loop speed control offers the best control performance. Naturally, the properties of the speed sensor and the speed control system are important when both a narrow deviation band and a small measurement delay are required.

Le fonctionnement précis de l'entraînement est possible jusqu'à la vitesse nulle indépendamment du couple de charge grâce au contrôle en boucle fermée. Il faut cependant noter que les entraînements avec onduleur commuté par la charge (LCI) peuvent présenter des restrictions à basse vitesse et fort couple en raison même de leur principe de fonctionnement.

Le contrôle de vitesse en boucle fermée est conseillé pour des applications à forte dynamique telles que les laminoirs ou pour des applications avec fonctionnement continu à faible vitesse et fort couple. De plus, un contrôle à boucle fermée de grande performance peut être nécessaire dans le cas de quelques applications pour lesquelles il faut améliorer le faible amortissement mécanique intrinsèque des résonances de torsion.

B.6 Spécification des performances du contrôle de vitesse

La spécification des performances du contrôle de vitesse est un problème délicat, car il est souvent difficile de savoir ce dont le système nécessite réellement pour que le fonctionnement soit satisfaisant. Il en résulte qu'il est normal que des valeurs très critiques soient spécifiées dans le but unique d'assurer le résultat.

Cependant, une telle spécification peut conduire à augmenter le coût de l'équipement en raison du capteur à hautes performances qu'elle induit et, dans certains cas, du renforcement de la ligne d'arbre entre le moteur et le système, pour permettre d'obtenir des *ARF* plus élevées.

De plus, la spécification de temps de réponse court signifie que le régulateur de vitesse doit être réglé en conséquence. Cependant, cela signifie une faible marge de stabilité du contrôle de vitesse. Quand il est neuf, le système peut fonctionner correctement avec ce type de réglage. Par la suite, il y a augmentation des jeux en raison de l'usure des pièces mécaniques. Cette augmentation diminue la marge de stabilité du contrôle de vitesse et favorise ainsi la tendance aux vibrations de torsion, et à l'usure mécanique. Ainsi, la durée de vie des pièces mécaniques, par exemple les broches, les accouplements, les réducteurs, peut être affectée.

En résumé, la spécification des performances les plus dynamiques peut ne pas être optimale et il faut d'être très attentif afin de définir les valeurs appropriées à chaque entraînement.

With the closed loop control, accurate operation of the PDS is possible down to a speed of zero, regardless of the load torque. Note, however, that for example LCI (load commutated inverter) drives may still have restrictions in the low speed operation with high torque due to their operation principle.

Closed loop speed control is recommended for the dynamically demanding applications such as rolling mill drives and for applications where continuous low speed operation with high torque is required. Moreover, high performance closed loop control may be necessary for some applications in order to increase the inherently low mechanical damping of the torsion resonances.

B.6 Specification of the speed control performance

The specification of the speed control performance is a difficult issue, because it is often difficult to know what the driven equipment actually requires for satisfactory operation. As a consequence, it is typical that very demanding values are specified just to be sure to be on the safe side.

However, such over specifying may lead to an increased cost of the equipment because of the high performance speed sensor required, and in some cases due to the stiffer and more expensive shaft between the motor and the driven equipment in order to obtain higher *ARF*.

Moreover, the specification of short response times means that the speed controller has to be tuned accordingly. This, however, means a lower stability margin for the speed control system. When new, the system may perform well with this kind of tuning. As time goes by, the backlash will increase due to the wear of the mechanical parts. The increased backlash decreases the stability margin of the speed control further and as a consequence increases the tendency for torsion vibration and further mechanical wear. Thus, the lifetime of the mechanical parts, for example spindles, couplings, gears, etc. may be shortened.

To summarize, the specification of the highest performance may not be ideal, and care has to be taken in order to find the right values for each drive.

Annexe C (informative)

Pertes des semi-conducteurs

C.1 Thyristor

C.1.1 Pertes à l'état passant (pertes dues à la chute de tension directe)

A l'état passant, le courant direct et la chute de tension directe U_F sont cause de pertes en régime établi.

Les pertes du thyristor à l'état passant peuvent être exprimées par:

$$P_{on} = U_{T0} \times I_{Tav} + r_T \times I_{Trms}^2$$

où

P_{on}	sont les pertes à l'état passant	[W]
U_{T0}	est la tension directe du thyristor (tension de seuil)	[V]
r_T	est la résistance passante du thyristor	[Ω]
I_{Tav}	est la valeur moyenne du courant d'anode du thyristor	[A]
I_{Trms}	est la valeur efficace du courant d'anode du thyristor	[A]

C.1.2 Pertes dues au courant de fuite direct

Lorsque le thyristor est polarisé dans le sens direct et qu'il est maintenu à l'état bloqué, un courant de fuite de l'anode à la cathode provoque des pertes. Normalement, les pertes dues au courant de fuite direct sont négligeables en raison de la faiblesse de ce courant de fuite.

C.1.3 Pertes dues au courant de fuite inverse

Lorsque le thyristor à l'état bloqué est polarisé en inverse, le courant de fuite entre cathode et anode provoque des pertes. Normalement, les pertes dues au courant de fuite inverse sont négligeables en raison de la faiblesse de ce courant de fuite. Cependant, les pertes de commutation sont fortes dans le cas des thyristors haute tension ou dans le cas de fonctionnement à fréquence plus élevée.

C.1.4 Pertes de commutation (pertes à l'allumage et pertes à l'extinction)

Les pertes de commutation sont négligeables sauf pour les onduleurs dont la sortie est à fréquence élevée, ou pour les onduleurs commandés en modulation de largeur d'impulsion à haute fréquence dans le domaine des dispositifs auto-commutés, ou pour les applications haute tension.

C.1.5 Pertes de gâchette

Les pertes de gâchette des thyristors dépendent du courant de gâchette et de la tension de gâchette. Typiquement, elles sont négligeables dans les applications de grande puissance.

Annex C (informative)

Power semiconductor losses

C.1 Thyristor

C.1.1 On-state losses (forward voltage drop loss)

At the thyristor on-state, forward current and forward drop voltage U_F cause on-state losses in a steady state.

Thyristor on-state losses can be expressed as:

$$P_{\text{on}} = U_{T0} \times I_{\text{Tav}} + r_T \times I_{\text{Trms}}^2$$

where

P_{on}	is the forward voltage drop loss or on-state loss	[W]
U_{T0}	is the thyristor on voltage (threshold forward drop voltage)	[V]
r_T	is the thyristor on-state resistance	[Ω]
I_{Tav}	is the thyristor anode current, average value	[A]
I_{Trms}	is the thyristor anode current, r.m.s. value	[A]

C.1.2 Forward leakage current loss

When forward voltage charges between the thyristor anode and cathode terminal and thyristor is maintained in the off-state, leakage current from the anode to the cathode causes forward leakage current loss. Usually forward leakage current loss is negligible, because the thyristor forward leakage current is very small.

C.1.3 Reverse leakage current loss

During the thyristor reverse blocking period, leakage current from cathode to anode causes reverse leakage current loss. Usually, reverse leakage current loss is negligible, because the thyristor reverse leakage current is very small. However, the switching losses increase in case of high voltage thyristors, or if operated at higher frequencies.

C.1.4 Switching losses (turn-on loss and turn-off loss)

Switching loss is negligible, except for high frequency output inverter or for high frequency PWM inverter use (which has recently become the field of self-commutated devices) and high voltage applications.

C.1.5 Gate power losses

Thyristor gate power depends on gate current and gate-cathode voltage. It is typically negligible in high power applications.

C.2 GTO/GCT (thyristor commandé à l'extinction/thyristor à commande d'extinction intégrée)

C.2.1 Pertes à l'état passant (pertes dues à la chute de tension directe)

A l'état passant, le courant direct et la chute de tension directe U_T sont cause de pertes en régime établi.

$$P_{T\text{on}} = U_{T0} \times I_{T\text{av}} + r_T \times I_{T\text{rms}}^2$$

où

$P_{T\text{on}}$	sont les pertes à l'état passant	[W]
U_{T0}	est la tension directe du thyristor (tension de seuil)	[V]
r_T	est la résistance passante du thyristor	[Ω]
$I_{T\text{av}}$	est la valeur moyenne du courant d'anode du thyristor	[A]
$I_{T\text{rms}}$	est la valeur efficace du courant d'anode du thyristor	[A]

C.2.2 Pertes dues au courant de fuite direct

Lorsque le GTO/GCT est polarisé dans le sens direct et qu'il est maintenu à l'état bloqué, un courant de fuite de l'anode à la cathode provoque des pertes. Normalement, les pertes dues au courant de fuite direct sont négligeables en raison de la faiblesse de ce courant de fuite.

C.2.3 Pertes dues à la chute de tension directe dans la diode de roue libre

Pertes directes:

$$P_{D\text{on}} = U_{F0} \times I_{F\text{av}} + r_F \times I_{F\text{rms}}^2$$

où

$P_{D\text{on}}$	sont les pertes directes dues à la chute de tension directe	[W]
U_{F0}	est la tension directe de la diode (tension de seuil)	[V]
r_F	est la résistance passante de la diode	[Ω]
$I_{F\text{av}}$	est la valeur moyenne du courant d'anode de la diode	[A]
$I_{F\text{rms}}$	est la valeur efficace du courant d'anode de la diode	[A]

C.2.4 Pertes de commutation de la diode de roue libre

Pertes d'extinction de la FWD:

$$P_{D\text{turn of}} = \frac{1}{2} \times U \times I_{rr} \times t_{rr2} \times f_{to}$$

où

$P_{D\text{turn-off}}$	sont les pertes d'extinction de la diode	[W]
U	est la tension inverse de la diode	[V]
I_{rr}	est le courant inverse (de pointe) de la diode	[A]
t_{rr2}	est le temps de recouvrement inverse de décroissance de la diode	[s]
f_{to}	est la fréquence d'extinction de la diode qui est différente de la fréquence de commutation de l'onduleur	[s ⁻¹]

NOTE La fréquence d'extinction de la diode est inférieure ou égale à la fréquence de commutation de l'onduleur, en fonction de la topologie, de la stratégie de contrôle et du mode opératoire.

C.2 GTO/GCT thyristor (gate turn-off, gate commutated turn-off)

C.2.1 On-state losses (Forward voltage drop loss)

When the GTO is on-state, forward current and forward voltage drop U_T cause on loss in a steady state.

$$P_{T\text{on}} = U_{T0} \times I_{T\text{av}} + r_T \times I_{T\text{rms}}^2$$

where

$P_{T\text{on}}$	is the forward voltage drop loss or on-state loss	[W]
U_{T0}	is the thyristor on voltage (threshold forward voltage drop)	[V]
r_T	is the thyristor on-state resistance	[Ω]
$I_{T\text{av}}$	is the thyristor anode current, average value	[A]
$I_{T\text{rms}}$	is the thyristor anode current, r.m.s. value	[A]

C.2.2 Forward leakage current loss

When forward voltage charges between the GTO/GCT anode and cathode terminals and GTO/GCT is maintained in an off-state, leakage current from anode to cathode causes forward leakage current loss. Usually, forward leakage current loss is negligible, because GTO forward leakage current is very small.

C.2.3 Free-wheeling diode (forward voltage drop loss)

Diode on-state losses:

$$P_{D\text{on}} = U_{F0} \times I_{F\text{av}} + r_F \times I_{F\text{rms}}^2$$

where

$P_{D\text{on}}$	is the forward voltage drop loss or on-state loss	[W]
U_{F0}	is the diode on voltage (threshold forward voltage drop)	[V]
r_F	is the diode on-state resistance	[Ω]
$I_{F\text{av}}$	is the diode anode current, average value	[A]
$I_{F\text{rms}}$	is the diode anode current, r.m.s. value	[A]

C.2.4 Free wheeling diode switching losses

Diode turn-off loss.

$$P_{D\text{turn off}} = \frac{1}{2} \times U \times I_{rr} \times t_{rr2} \times f_{to}$$

where

$P_{D\text{turn-off}}$	is the diode turn-off loss	[W]
U	is the diode reverse voltage	[V]
I_{rr}	is the diode reverse current (peak)	[A]
t_{rr2}	is the diode reverse recovery decay time	[s]
f_{to}	is the turn-off frequency of the diode which is different from the switching frequency of the inverter [s ⁻¹]	

NOTE The turn-off frequency of the diode is equal to or lower than the switching frequency of the inverter, depending on the topology, on the control strategy and operating mode.

C.2.5 Pertes de gâchette

Les pertes de gâchette des GTO/GCT dépendent du courant de gâchette et de la tension de gâchette. Usuellement, les GTO/GCT nécessitent un fort courant de gâchette. En conséquence, les pertes de gâchette sont supérieures à celles des thyristors de technologie conventionnelle. Les pertes moyennes peuvent être mesurées à partir de la tension moyenne gâchette cathode ($V_{g(ave)}$) et du courant moyen de gâchette ($I_{g(ave)}$).

C.2.6 Pertes de commutation

$$P_{\text{switching}} = \sum (E_{\text{on}} + E_{\text{off}}) \times f_{\text{switching}} \text{ (somme sur un cycle)}$$

où

$P_{\text{switching}}$	sont les pertes de commutation	[W]
E_{on}	est l'énergie d'allumage par cycle de commutation	[J]
E_{off}	est l'énergie d'extinction par cycle de commutation	[J]
$f_{\text{switching}}$	est la fréquence de commutation	[s ⁻¹]

Pertes d'allumage:

ce sont les pertes générées pendant le retard à l'allumage ($t_{d(\text{on})}$) et pendant le temps de montée du courant t_r .

$$E_{\text{on}} = \int_0^{t_r} I \times U_D \times dt \text{ (par commutation)}$$

où

E_{on}	est l'énergie d'allumage par cycle de commutation	[J]
I_T	est le courant d'anode	[A]
U_D	est la tension anode/cathode	[V]
t_r	est le temps de montée du courant	[s]

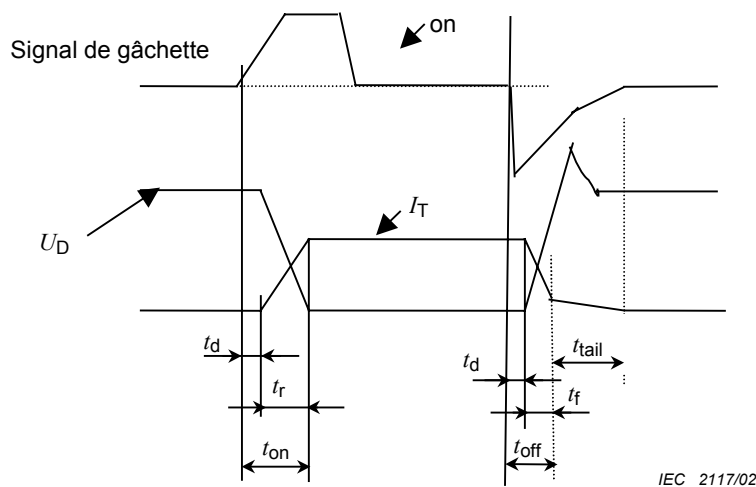


Figure C.1 – Forme d'onde de commutation des GTO/GCT

C.2.5 Gate power losses

GTO/GCT gate power depends on gate current and gate-cathode voltage. Usually, GTO/GCT requires a high gate current, as a consequence, gate loss becomes larger compared to conventional thyristor technology. Average gate loss can be measured by measuring average gate-cathode voltage ($V_{g(ave)}$) and average gate current ($I_{g(ave)}$).

C.2.6 Switching losses

$$P_{\text{switching}} = \sum (E_{\text{on}} + E_{\text{off}}) \times f_{\text{switching}} \text{ (summation for one cycle)}$$

where

$P_{\text{switching}}$	is the switching loss	[W]
E_{on}	is the turn-on energy per switching cycle	[J]
E_{off}	is the turn-off energy per switching cycle	[J]
$f_{\text{switching}}$	is the switching frequency	[s ⁻¹]

Turn-on losses:

losses generated during turn-on delay time ($t_{d(\text{on})}$) and current rise time (t_r).

$$E_{\text{on}} = \int_0^{t_r} I \times U_D \times dt \text{ (for 1 switching)}$$

where

E_{on}	is the turn-on energy per switching cycle	[J]
I_T	is the anode current	[A]
U_D	is the anode-cathode voltage	[V]
t_r	is the current rise time	[s]

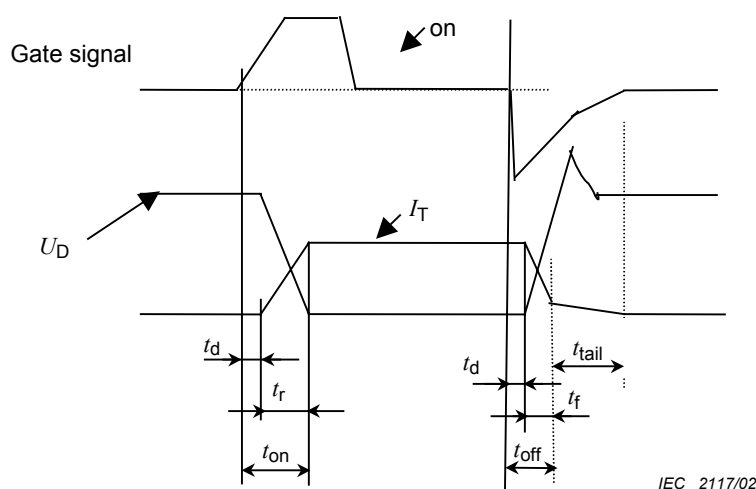


Figure C.1 – GTO/GCT switching waveform

Pertes d'extinction:

ce sont les pertes générées pendant le retard à l'extinction ($t_{d(off)}$) et pendant le temps de descente du courant t_f .

$$E_{off} = \left[\int_0^{t_f} I_T \times U_D \times dt \right] + \left[I_T \times U_T \times t_{d(off)} \right] + E_d \text{ (par commutation)}$$

où

E_{off}	est l'énergie d'extinction par cycle de commutation	[J]
E_{tl}	est l'énergie d'extinction du courant de traîne	[J]
I_T	est le courant d'anode	[A]
U_D	est la tension anode/cathode	[V]
U_T	est la chute de tension directe à l'état passant du GTO	[V]
t_f	est le temps de décroissance du courant	[s]
$t_{d(off)}$	est le retard à l'extinction	[s]

Dans quelques applications GTO, un circuit destiné à récupérer l'énergie des circuits d'aide à la commutation est essentiel en raison du fort niveau de charge stockée dans les GTO. Voir en C.4.3. Usuellement les GCT ne nécessitent pas de circuit de récupération d'énergie des circuits d'aide à la commutation.

C.3 IGBT

C.3.1 Pertes à l'état passant (pertes dues à la chute de tension directe)

Lorsque l'IGBT est à l'état passant, le courant direct et la tension de saturation, collecteur/émetteur de l'IGBT, sont source des pertes à l'état passant en régime établi.

$$P_{Ton} = U_{T0} \times I_{Tav} + r_T \times I_{Trms}^2$$

où

P_{Ton}	sont les pertes dues à la chute de tension directe	[W]
$U_{ce(SAT)}$	est la tension de saturation collecteur/émetteur	[V]
r_T	est la résistance du transistor en conduction	[Ω]
I_{Tav}	est la valeur moyenne du courant collecteur	[A]
I_{Trms}	est la valeur efficace du courant collecteur	[A]

C.3.2 Pertes dues au courant de fuite directe

Lorsque l'IGBT est polarisé dans le sens direct entre collecteur et émetteur et qu'il est maintenu à l'état bloqué, un courant de fuite entre le collecteur et l'émetteur provoque des pertes. De plus, le courant de fuite inverse de la diode de roue libre provoque aussi des pertes.

C.3.3 Pertes dues à la chute de tension directe de la diode de roue libre

Le plus souvent, la diode de roue libre est montée dans le module IGBT. Usuellement les pertes de la FWD ne peuvent être séparées de celles de l'IGBT.

$$P_{Don} = U_{F0} \times I_{Fav} + r_F \times I_{Frms}^2$$

Turn-off losses:

loss generated during turn-off delay time ($t_{d(off)}$) and current fall time (t_f).

$$E_{of f} = \left[\int_0^{t_f} I_T \times U_D \times dt \right] + \left[I_T \times U_T \times t_{d(off)} \right] + E_d \text{ (for 1 switching)}$$

where

E_{off}	is the turn-off energy per switching cycle	[J]
E_{tl}	is the turn-off energy by tail current	[J]
I_T	is the anode current	[A]
U_D	is the anode-cathode voltage	[V]
U_T	is the GTO on voltage	[V]
t_f	is the current fall time	[s]
$t_{d(off)}$	is the turn-off delay time	[s]

For some GTO applications, a snubber regeneration circuit is essential because of GTO's large storage charge in the devices. Refer to C.4.3. Usually, in the case of GCT application, a snubber regeneration circuit is not necessary.

C.3 IGBT

C.3.1 On loss (forward voltage drop loss)

When the IGBT turns on, the forward current and the IGBT collector – emitter saturation voltage $V_{ce(SAT)}$ cause on loss in a steady state.

$$P_{Ton} = U_{T0} \times I_{Tav} + r_T \times I_{Trms}^2$$

where

P_{Ton}	is the forward voltage drop loss or on-state loss	[W]
$U_{ce(SAT)}$	is the transistor on voltage (threshold saturation voltage drop)	[V]
r_T	is the transistor on-state resistance	[Ω]
I_{Tav}	is the transistor collector current, average value	[A]
I_{Trms}	is the transistor collector current, r.m.s. value	[A]

C.3.2 Forward leakage current loss

When the forward voltage charges between the IGBT collector and emitter terminals and the IGBT is maintained in an off-state, leakage current from collector to emitter cause forward leakage current loss. In addition, free wheeling diode reverse leakage current also causes losses.

C.3.3 Forward drop voltage loss (free wheeling diode on-state loss)

The most frequently, free wheeling diode are assembled in IGBT modules. Usually, free wheeling diode losses cannot be measured and separated from IGBT losses.

$$P_{Don} = U_{F0} \times I_{Fav} + r_F \times I_{Frms}^2$$

où

P_{Don}	sont les pertes directes dans la diode de roue libre	[W]
U_{F0}	est la chute de tension directe de la diode de roue libre	[V]
r_F	est la résistance de la diode à l'état passant	[Ω]
I_{Fav}	est la valeur moyenne du courant d'anode de la diode	[A]
I_{Frms}	est la valeur efficace du courant d'anode de la diode	[A]

C.3.4 Pertes de commutation de la diode de roue libre (pertes d'extinction)

Le plus souvent, la diode de roue libre est montée dans le module IGBT. Usuellement les pertes de la diode de roue libre ne peuvent pas être séparées de celles de l'IGBT.

C.3.5 Pertes de gâchette

L'IGBT est un semi-conducteur contrôlé de type MOS dont l'impédance de gâchette est élevée, les pertes de gâchette de l'IGBT sont donc négligeables.

C.3.6 Pertes de commutation

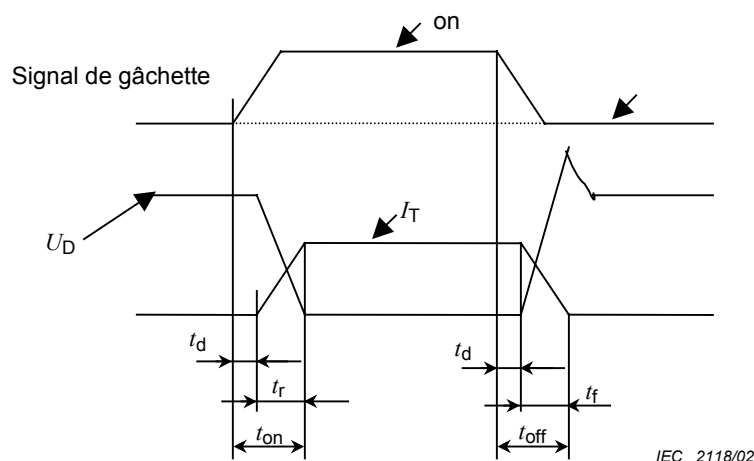


Figure C.2 – Forme d'onde de commutation d'un IGBT

Les formes d'onde d'allumage sont semblables à celles d'un GTO.

$$P_{\text{switching}} = \sum (E_{\text{on}} + E_{\text{off}}) \times f_{\text{switching}} \text{ (somme sur un cycle)}$$

où

$P_{\text{switching}}$	sont les pertes de commutation	[W]
E_{on}	est l'énergie d'allumage par cycle de commutation	[J]
E_{off}	est l'énergie d'extinction par cycle de commutation	[J]
$f_{\text{switching}}$	est la fréquence de commutation de l'IGBT	[s ⁻¹]

Pertes d'allumage:

ce sont les pertes générées pendant le retard à l'allumage ($t_{d(\text{on})}$) et pendant le temps de montée du courant t_r .

where

P_{Don}	is the forward voltage drop loss or on-state loss	[W]
U_{F0}	is the diode on voltage (threshold forward voltage drop)	[V]
r_{F}	is the diode on-state resistance	[Ω]
I_{Fav}	is the diode anode current, average value	[A]
I_{Frms}	diode anode current, r.m.s. value	[A]

C.3.4 Free wheeling diode switching loss (free wheeling diode turn-off loss)

The most frequently, free wheeling diode are assembled in IGBT modules. Usually, free wheeling diode losses cannot be measured and separated from IGBT losses.

C.3.5 Gate power loss

Gate power is negligible for IGBT devices, because IGBT is a MOS-controlled device with a high gate impedance.

C.3.6 Switching loss

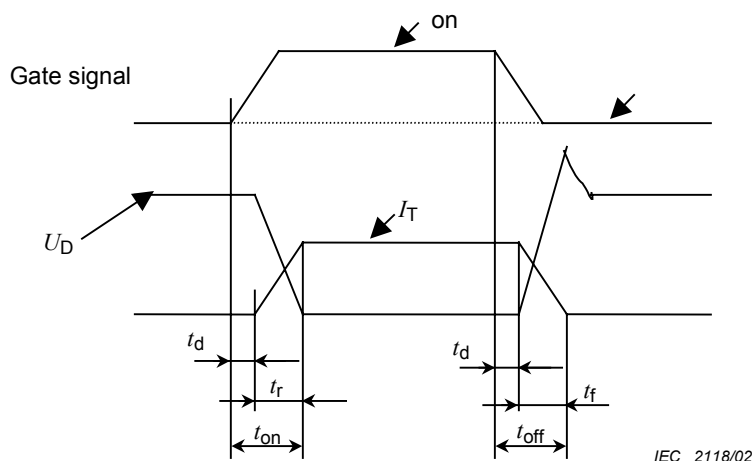


Figure C.2 – IGBT switching waveform

The switching waveform is almost the same as for GTO.

$$P_{\text{switching}} = \sum (E_{\text{on}} + E_{\text{off}}) \times f_{\text{switching}} \quad (\text{summation for 1 cycle})$$

where

$P_{\text{switching}}$	is the switching loss	[W]
E_{on}	is the turn-on energy per switching cycle	[J]
E_{off}	is the turn-off energy per switching cycle	[J]
$f_{\text{switching}}$	is the IGBT switching frequency	[s ⁻¹]

Turn-on loss:

Loss which is generated during the turn-on delay time ($t_{\text{d(on)}}$) and current rise time (t_{r}).

$$E_{on} = \int_0^{t_r} I_C \times U_{CE} \times dt \text{ (par commutation)}$$

où

E_{on}	est l'énergie d'allumage par cycle de commutation	[J]
I_C	est le courant collecteur	[A]
U_{CE}	est la tension collecteur émetteur	[V]
t_r	est le temps de montée du courant	[s]

Pertes d'extinction:

ce sont les pertes générées pendant le retard à l'extinction ($t_{d(off)}$) et pendant le temps de descente du courant t_f .

$$E_{off} = \left[\int_0^{t_f} I_C \times U_{CE} \times dt \right] + \left[I_C \times U_{CE(SAT)} \times t_{d(off)} \right]$$

où

E_{off}	est l'énergie d'extinction par cycle de commutation	[J]
I_C	est le courant collecteur	[A]
U_{CE}	est la tension collecteur émetteur	[V]
$U_{CE(SAT)}$	est la tension collecteur émetteur de saturation	[V]
t_f	est le temps de décroissance du courant	[s]
$t_{d(off)}$	est le retard à l'extinction	[s]

C.4 Pertes des circuits d'aide à la commutation (CALC)

C.4.1 Circuit d'aide à la commutation (CALC) en parallèle sur le thyristor

Les pertes du circuit d'aide à la commutation en parallèle peuvent être exprimées par:

$$P_{sn} = P_{lf} + P_{hf} \quad (\text{par branche})$$

$$P_{sf} = 20 \times f^2 \times (C_S/n)^2 \times U_{LL}^2 \times R_S \times n \times (1 + 0,5 \sin^2 \alpha) \quad (\text{par branche})$$

$$P_{sc} = (10,5/6) \times f \times (C_S/n) \times U_{LL}^2 \times [\sin^2 \alpha + \sin^2(\alpha+u)] \quad (\text{par branche})$$

où

P_{sn}	sont les pertes totales du circuit	[W]
P_{sf}	sont les pertes du circuit à la fréquence du réseau	[W]
P_{sc}	sont les pertes du circuit dues aux commutations	[W]
R_S	est la résistance du circuit (CALC)	[Ω]
C_S	est le condensateur du circuit (CALC)	[F]
U_{LL}	est la tension entre phases aux bornes du convertisseur	[V]
f	est la fréquence du convertisseur (convertisseur à thyristors – côté réseau: fréquence du réseau d'alimentation, onduleur à thyristors – côté moteur: fréquence de sortie de l'onduleur)	[s ⁻¹]

$$E_{\text{on}} = \int_0^{t_r} I_C \times U_{\text{CE}} \times dt \quad (\text{for one switching})$$

where

E_{on}	is the turn-on energy per switching cycle	[J]
I_C	is the collector current	[A]
U_{CE}	is the collector-emitter voltage	[V]
t_r	is the current rise time	[s]

Turn-off loss:

Loss which is generated during the turn-off delay time ($t_{\text{d(off)}}$) and current fall time (t_f).

$$E_{\text{off}} = \left[\int_0^{t_f} I_C \times U_{\text{CE}} \times dt \right] + \left[I_C \times U_{\text{CE(SAT)}} \times t_{\text{d(off)}} \right]$$

where

E_{off}	is the turn-off energy per switching cycle	[J]
I_C	is the collector current	[A]
U_{CE}	is the collector-emitter voltage	[V]
$U_{\text{CE(SAT)}}$	is the collector-emitter saturation voltage	[V]
t_f	is the current fall time	[s]
$t_{\text{d(off)}}$	is the turn-off delay time	[s]

C.4 Snubber losses

C.4.1 Thyristor shunt snubber

Shunt snubber losses can be expressed as:

$$P_{\text{sn}} = P_{\text{lf}} + P_{\text{hf}} \quad (\text{per arm})$$

$$P_{\text{sf}} = 20 \times f^2 \times (C_s/n)^2 \times U_{\text{LL}}^2 \times R_s \times n \times (1 + 0,5 \sin^2 \alpha) \quad (\text{per arm})$$

$$P_{\text{sc}} = (10,5/6) \times f \times (C_s/n) \times U_{\text{LL}}^2 \times [\sin^2 \alpha + \sin^2(\alpha + u)] \quad (\text{per arm})$$

where

P_{sn}	is the total snubber loss	[W]
P_{sf}	is the snubber loss at network frequency	[W]
P_{sc}	is the snubber loss due to commutations	[W]
R_s	is the snubber resistor	[Ω]
C_s	is the snubber capacitor	[F]
U_{LL}	is the line-line voltage at a.c. terminals of converter	[V]
f	is the converter frequency (thyristor converter – network side: power supply frequency, thyristor inverter – motor side: inverter output frequency)	[s ⁻¹]

α est l'angle de retard à l'allumage [degrés]
 u est l'angle d'empiètement [degrés]
 n est le nombre de thyristors en série

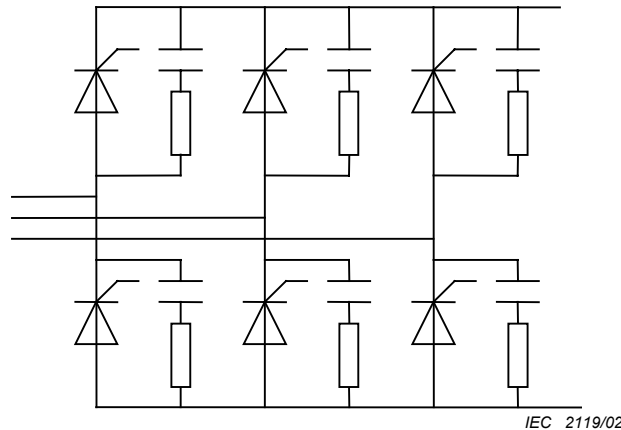


Figure C.3 – Pont à thyristor triphasé

C.4.2 Onduleur en source de tension avec circuit d'aide à la commutation de type RCD (CALC de type RCD)

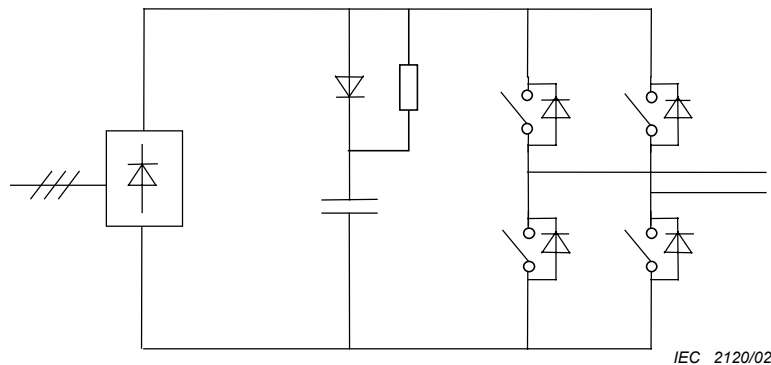


Figure C.4 – Ecrêteur commun de type RCD

Les pertes dans la résistance de l'écrêteur commun peuvent s'exprimer au moyen de:

$$P_{rs} = \frac{L_M \times I_{off}^2 \times f_{sw}}{2}$$

où

P_{rs} sont les pertes des résistances de l'écrêteur [W]
 L_M est la réactance du circuit principal à l'instant de la commutation [H]
 I_{off} est le courant commuté à l'extinction [A]
 f_{sw} est la fréquence de commutation [s⁻¹]

Pertes dans la diode de l'écrêteur:

dans le cas de l'écrêteur commun de type RCD, les pertes de la diode sont suffisamment faibles pour être négligées comparativement aux pertes de la résistance.

α	is the trigger delay angle	[degrees]
u	is the angle of overlap	[degrees]
n	is the number of thyristors in series string	

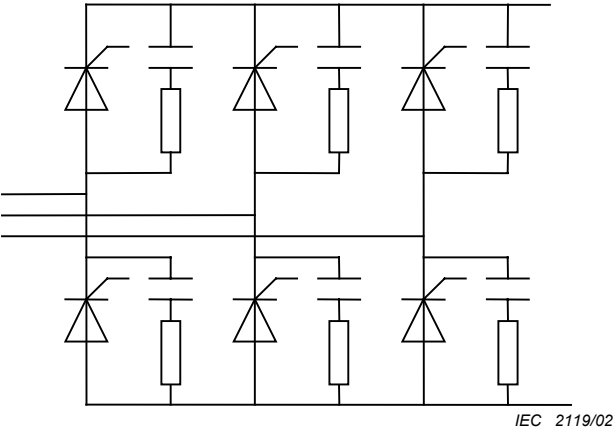


Figure C.3 – Three-phase thyristor bridge circuit

C.4.2 Voltage source inverters with common RCD clamp

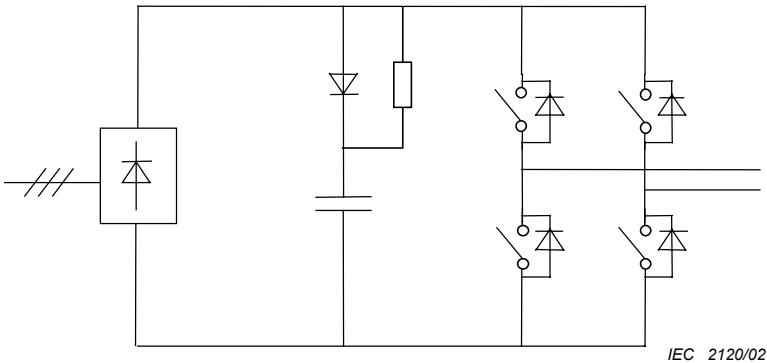


Figure C.4 – Common RCD clamp

Clamp resistor loss can be expressed as:

$$P_{rs} = \frac{L_M \times I_{off}^2 \times f_{sw}}{2}$$

where

P_{rs}	is the clamp resistor loss	[W]
L_M	is the main circuit inductance which is effective at the switching period	[H]
I_{off}	is the turn off current	[A]
t_{sw}	is the switching frequency	[s ⁻¹]

Clamp diode loss:

In the case of an RCD clamp, diode loss is negligibly small compared to resistor loss.

C.4.3 Pertes des circuits de récupération des CALC

Pour certains types de convertisseurs, il est possible d'utiliser des CALC avec des récupérations de l'énergie de commutation. Dans un tel cas, il convient que les pertes de tous les composants de ces circuits soient comptées.

C.4.4 Pertes des circuits en commutation

Les circuits de commutation forcée sont essentiels dans un onduleur à thyristors. Les pertes du circuit en commutation forcée comprennent les pertes des condensateurs de commutation, les pertes des réactances de commutation, les pertes des semi-conducteurs de puissance, etc.

C.4.3 Snubber regeneration circuit loss

For certain converter circuits, it is possible to use a snubber regeneration circuit. In such a case, each component loss should be included.

C.4.4 Commutation circuit loss

For a thyristor inverter, a commutation circuit is essential. Commutation circuit losses include commutation capacitor loss, commutation reactor loss, power device loss, etc.



Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

1211 GENEVA 20

Switzerland



Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent ☐
librarian ☐
researcher ☐
design engineer ☐
safety engineer ☐
testing engineer ☐
marketing specialist ☐
other

Q3 I work for/in/as a:
(tick all that apply)

- manufacturing ☐
consultant ☐
government ☐
test/certification facility ☐
public utility ☐
education ☐
military ☐
other

Q4 This standard will be used for:
(tick all that apply)

- general reference ☐
product research ☐
product design/development ☐
specifications ☐
tenders ☐
quality assessment ☐
certification ☐
technical documentation ☐
thesis ☐
manufacturing ☐
other

Q5 This standard meets my needs:
(tick one)

- not at all ☐
nearly ☐
fairly well ☐
exactly ☐

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date ☐
standard is incomplete ☐
standard is too academic ☐
standard is too superficial ☐
title is misleading ☐
I made the wrong choice ☐
other

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
(2) below average,
(3) average,
(4) above average,
(5) exceptional,
(6) not applicable

- timeliness
quality of writing.....
technical contents.....
logic of arrangement of contents
tables, charts, graphs, figures.....
other

Q8 I read/use the: (tick one)

- French text only ☐
English text only ☐
both English and French texts ☐

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse



Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:
(ex. 60601-1-1)
.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme,
quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

agent d'un service d'achat ☐
bibliothécaire ☐
chercheur ☐
ingénieur concepteur ☐
ingénieur sécurité ☐
ingénieur d'essais ☐
spécialiste en marketing ☐
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

dans l'industrie ☐
comme consultant ☐
pour un gouvernement ☐
pour un organisme d'essais/
certification ☐
dans un service public ☐
dans l'enseignement ☐
comme militaire ☐
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

ouvrage de référence ☐
une recherche de produit ☐
une étude/développement de produit ☐
des spécifications ☐
des soumissions ☐
une évaluation de la qualité ☐
une certification ☐
une documentation technique ☐
une thèse ☐
la fabrication ☐
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

pas du tout ☐
à peu près ☐
assez bien ☐
parfaitement ☐

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à
Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

la norme a besoin d'être révisée ☐
la norme est incomplète ☐
la norme est trop théorique ☐
la norme est trop superficielle ☐
le titre est équivoque ☐
je n'ai pas fait le bon choix ☐
autre(s)

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-
dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

publication en temps opportun
qualité de la rédaction.....
contenu technique
disposition logique du contenu
tableaux, diagrammes, graphiques,
figures
autre(s)

Q8 Je lis/utilise: (une seule réponse)

uniquement le texte français ☐
uniquement le texte anglais ☐
les textes anglais et français ☐

Q9 Veuillez nous faire part de vos
observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....



.....

ISBN 2-8318-6560-3



9 782831 865607

ICS 29.160.30; 29.200

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND